

洋上風力発電所に係る環境影響評価手法の 技術ガイド 参考資料

令和5年12月

環境省大臣官房環境影響評価課
経済産業省産業保安グループ電力安全課

はじめに

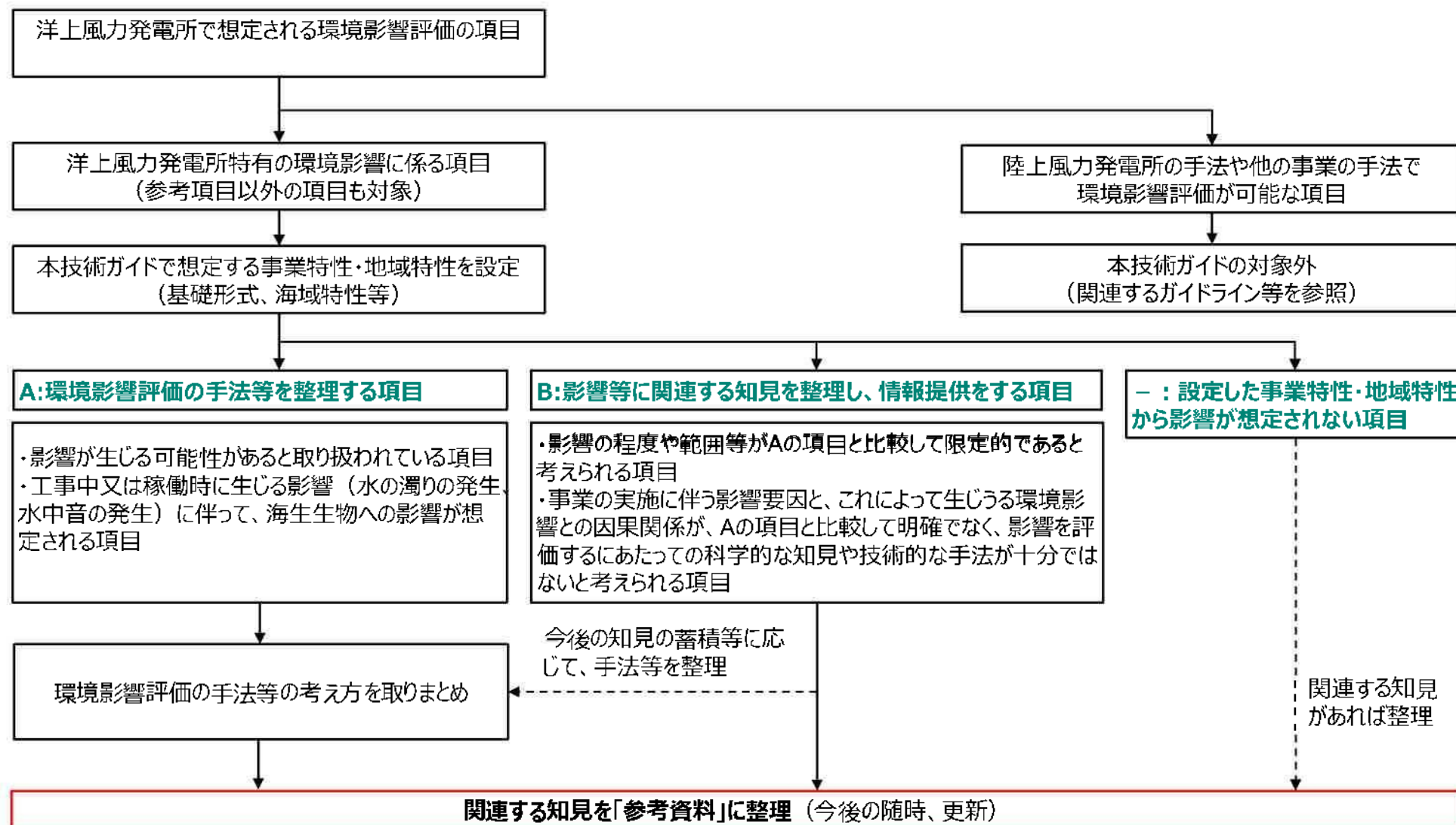
参考資料の利用にあたって

- 本参考資料は、「洋上風力発電所に係る環境影響評価手法の技術ガイド」において整理した結果に基づき、「環境影響評価の手法等を整理する項目」において取りまとめた環境影響評価の手法に関連する参考情報、「影響等に関連する知見を整理し、情報提供をする項目」に区分された項目に関連する参考情報を中心として、国内外の情報を収集し、収録したものである（次ページ参照）。
- 参考資料は、以下の3章の構成として収録した。
 1. 事業特性に関する事項
我が国の促進区域における洋上風力発電所の配置の事例や、基礎形式による施工方法等について収録した。
 2. 環境影響評価の項目に関する事項
環境影響評価の項目ごとに、環境影響評価の手法に関連する参考情報や、影響の程度等に関連する参考情報について、国内外の洋上風力発電の事例や、海域における他の事業の環境影響評価の事例などから収録した。
 3. 参考
1. 2. 以外に参考となる技術的な情報を収録した。
- 参考資料では、さまざまな事業特性・地域特性の事例を幅広く収録していることから、これらの情報を利用する際には、参照しようとしているケースと比較して条件等が適しているかについて確認した上で活用する必要がある。例えば、欧州の運転開始後の事後調査結果を参照した情報は、事業の特性（風力発電機の機種など）が10年前のものであるケースもある。
- 参考資料に収録した情報は、「資料の概要」として資料の位置づけや作成者に関する情報を、「記載内容の概要」として資料に記載されている情報の概要を記載し、また、資料ごとに出典を明記した。参考資料として記載した情報を、具体的かつ有効に活用するためには、必要に応じ、原典の情報を確認するよう留意することが重要である。
- なお、収録している参考情報は、今後、随時、情報の追加や更新を行うこととしている。

はじめに

参考資料の位置づけ

技術ガイドにおいて、参考資料に収録する情報について以下のとおり整理されている。



目次

1. 事業特性に関する事項.....	4
2. 環境影響評価の項目に関する事項.....	17
2.1 水質（水の濁り）.....	18
2.2 底質（有害物質）.....	30
2.3 コウモリ類.....	31
2.4 鳥類.....	35
2.5 海生哺乳類.....	48
2.6 ウミガメ類.....	56
2.7 魚類.....	58
2.8 底生生物.....	64
2.9 藻場・干潟・サンゴ礁.....	67
2.10 景観.....	71
2.11 水中音.....	73
2.12 振動.....	79
2.13 流向・流速.....	81
2.14 海浜地形.....	83
2.15 海底地形.....	86
2.16 電磁界.....	88
3. 参考.....	91
3.1 欧州における洋上風力発電に関する主な報告書.....	92
3.2 洋上風力発電のモニタリング手法（BACIデザイン、BAGデザイン）.....	93
3.3 衛星リモートセンシングによる情報の活用.....	94
3.4 水中探査機による調査技術.....	95
3.5 3次元景観シミュレーション技術.....	96

1. 事業特性に関する事項

1. 事業特性に関する事項

促進区域における事業計画の概要の例（1/3）

■ 秋田県能代市・三種町・男鹿市沖

促進区域 海域名	秋田県能代市・三種町・男鹿市沖
合計出力	478,800kW
単機出力	12,600kW
基 数	38基
促進区域面積（ha）	6,268.8ha
風力発電機が設置される水深（m）	約10m～約30m
風力発電機が設置される海岸線からの距離（km）	約1.5km～約5km



1. 事業特性に関する事項

促進区域における事業計画の概要の例（2/3）

■ 秋田県由利本荘市沖

促進区域 海域名	秋田県由利本荘市沖
合計出力	819,000kW
単機出力	12,600kW
基 数	65基
促進区域面積（ha）	北側 6,479.3ha、南側 6,561.1ha
風力発電機が設置される水深（m）	約20m～約40m
風力発電機が設置される海岸線からの距離（km）	約2km～約5km



1. 事業特性に関する事項

促進区域における事業計画の概要の例（3/3）

■ 千葉県銚子市沖

促進区域 海域名	千葉県銚子市沖
合計出力	390,600kW
単機出力	12,600kW
基 数	31基
促進区域面積 (ha)	3,948.7ha
風力発電機が設置され る水深 (m)	約10m~約20m
風力発電機が設置され る海岸線からの距離 (km)	約2km~約12km



出典：第4回 千葉県銚子市沖における協議会 資料5 千葉県銚子市沖洋上風力発電事業 概要説明

1. 事業特性に関する事項

促進区域における設備等の設置位置等の留意点の例（1/2）

■ 秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖

● 秋田県男鹿市、潟上市及び秋田市沖における協議会意見とりまとめ（令和4年8月2日）

（3）洋上風力発電設備等の設置位置等についての留意点（抜粋）

選定事業者は、漁業との共存共栄の理念のもと、促進区域内の水深 10m 以浅の海域には洋上風力発電設備等（海底ケーブルを除く。）を設置しないこと。また、海底ケーブルの設置に当たっては、漁業に支障を及ぼすことがないよう、十分な深さでの埋設を行う等、設置方式に配慮すること。

● 促進区域の範囲



1. 事業特性に関する事項

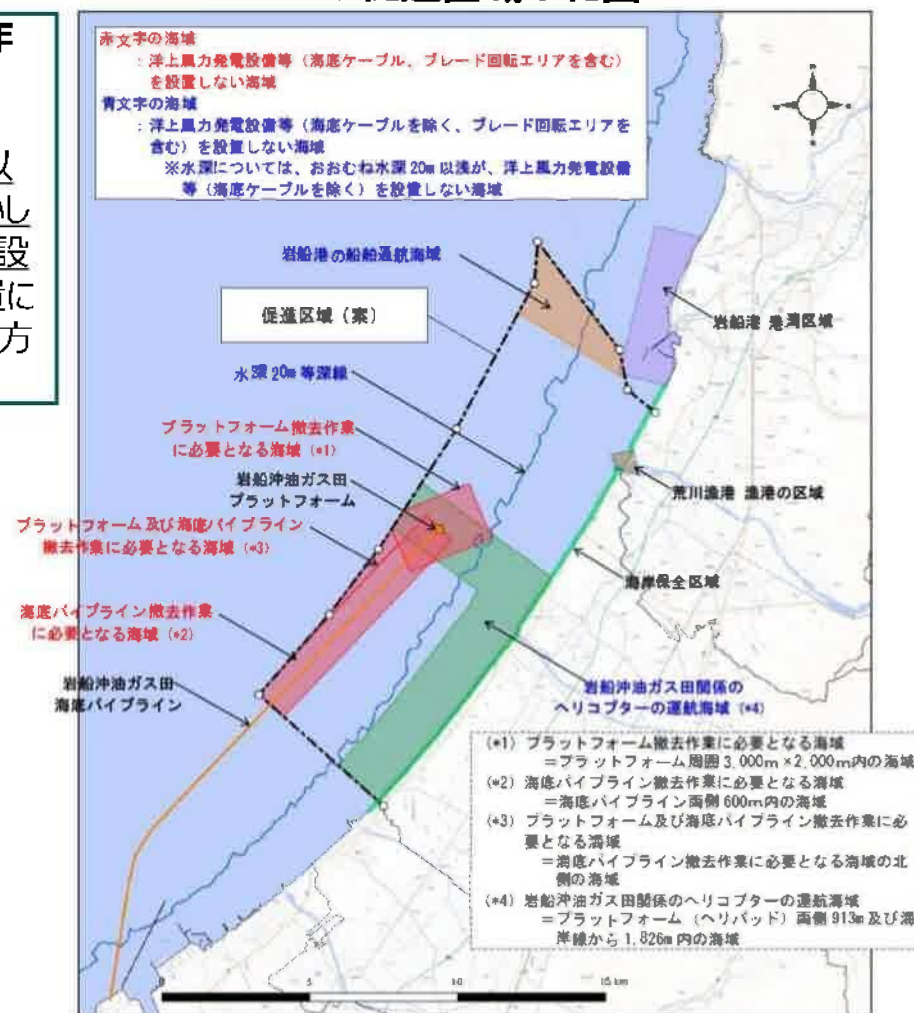
促進区域における設備等の設置位置等の留意点の例（2/2）

■新潟県村上市及び胎内市沖

●新潟県村上市及び胎内市沖における協議会意見とりまとめ（令和4年6月20日）

（3）洋上風力発電設備等の設置位置等についての留意点（抜粋）
漁業との共存共栄の理念を実現するために、促進区域は海岸から3海里以内としたうえで、選定事業者は、促進区域内のおおむね水深20m以浅ないしはおおむね水深20m以浅の範囲で別途設定する海域には洋上風力発電設備等（海底ケーブルを除く。）を設置しないこと。また、海底ケーブルの設置に当たっては、漁業に支障を及ぼすことがないように、地下埋設を行う等、設置方式を配慮すること。

●促進区域の範囲



※水深20m等深線は海洋台帳、左記以外に新潟県提供資料に基づき作成。
 ※港内区域、漁港の区域は、（1）～（10）及び陸岸で囲まれる海域の内に設定されている区域のみを記載。
 ※海岸保全区域は、（1）～（19）及び陸岸で囲まれる海域の内に設定されている区域（左記海域外の隣接部の区域
 も含む）のみを記載。

出典：第3回新潟県村上市及び胎内市沖における協議会 資料6

1. 事業特性に関する事項

洋上風力発電所の工事の概要

■ 風力発電機の設置と海底送電ケーブルの敷設の工事の概要

工事区分		工事の概要	
風力発電機の設置	海底の整地・浚渫等	・基礎等を設置する前に、海底の整地や浚渫等を行う。 ・整地や浚渫等の程度は、基礎等の形式によって異なる。	基礎に応じて、工事内容が異なる（次頁参照）。
	基礎等の運搬	・船舶によって基礎等の運搬を行う。 ・運搬資材や量は基礎の形式によって異なる。	
	基礎等の設置	・運搬した基礎を設置する。 ・基礎の占有面積や杭打作業等の程度は基礎の形式により異なる。	
	根固め・洗掘防止工の実施	・基礎の地盤の安定化や洗掘防止のために、基礎やその周囲を砂利や捨石等で覆う。 ・使用する砂利の量や施工範囲は基礎の形式によって異なる。	
	風力発電機等の運搬	・風力発電機のタワーやナセル等を船舶により運搬する。	
	風力発電機等の据付等	・タワーやナセル等を作業船、クレーン台船等により据え付ける。	
海底送電ケーブルの敷設	海底の整地・掘削	・ケーブルの敷設に先立ち、海底を整地、掘削する。 ・海底が岩盤の場合は、岩盤掘削機で掘削する。 ・海底が砂泥の場合は、水流による掘削とケーブル埋設を同時に行う場合もある。	
	ケーブル等の運搬	・ケーブルを敷設するためにケーブルやROV（ウォータージェット式埋設機（掘削、埋設を同時に行う機械）等）を船舶により運搬する。	
	ケーブルの敷設	・ケーブルの敷設は、通常、ケーブルを載せたケーブル敷設船とROVを用いて行う。	
	ケーブルの埋設等	・底引き網や投錨等による損傷を防ぐため、ケーブルを埋設又は被覆する。 ・海底が砂泥の場合、砂泥を掘削してケーブルを埋設する。 ・海底が岩盤の場合、主にケーブルの上に砂利や鋼管等で被覆する。	

1. 事業特性に関する事項

基礎形式ごとの工事の違い

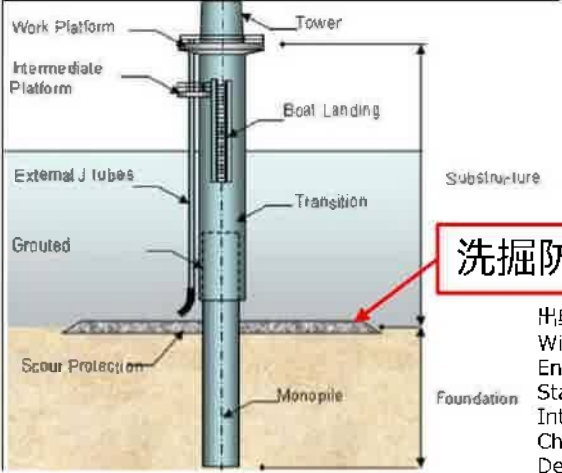
- ・モノパイル式の場合は、通常、海底の整地や浚渫等は必要ない。
- ・ジャケット式や重力式は、海底の整地等が必要な場合がある。
- ・モノパイル式、ジャケット式の場合は杭打工事が行われる。
- ・着床式の基礎形式では、一般的に根固め・洗掘防止工が行われる。

基礎形式等 工事区分	着床式			浮体式
	モノパイル式	重力式	ジャケット式	
海底の整地・浚渫等	通常、整地は必要ない	整地や浚渫が必要な場合がある 捨石投入を行う場合がある	基礎周辺の整地が必要な場合がある	シンカーの場合、局所的に整地が必要な場合がある
基礎等の運搬	—	他の基礎形式と比較して運搬量が多い	—	着床式と比較して運搬量は少ない
基礎等の設置	杭打作業を伴う 掘削工事を伴う場合がある	杭打作業はない	杭打作業を伴う	杭打作業はない
根固め・洗掘防止工の実施	洗掘防止工等を行う	他の基礎形式と比較して洗掘防止工等の規模が大きい	洗掘防止工等を行う	通常は洗掘防止工は行わない

出典：洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会報告書

1. 事業特性に関する事項

洋上風力発電所の基礎形式（モノパイル式）

	基礎工事等の概要
概 要	・浅海域（水深30m程度）で使用される。 ・最も安価。水深の浅い欧州では最も実績数が多い。 ・地盤が砂質の場合に使用される。
海底の整地・浚渫等	・事前の整地はほとんど必要ない。
イメージ	 出典：Hornsea Offshore Wind Farm Project One, Environmental Statement Volume 1 – Introductory Chapters Chapter 3 Project Description, 2013  出典：BURBO BANK EXTENSION offshore wind farm, Environmental Statement Volume 1 – Introductory Chapters 1-7, DONG Energy Burbo Extension, 2013  出典：TRITON KNOLL OFFSHORE WIND FARM, Environmental Statement Volume 1: Chapter 6 – Outline Project Description, RWE npower renewables, 2012

1. 事業特性に関する事項

洋上風力発電所の基礎形式（重力式）

基礎工事等の概要

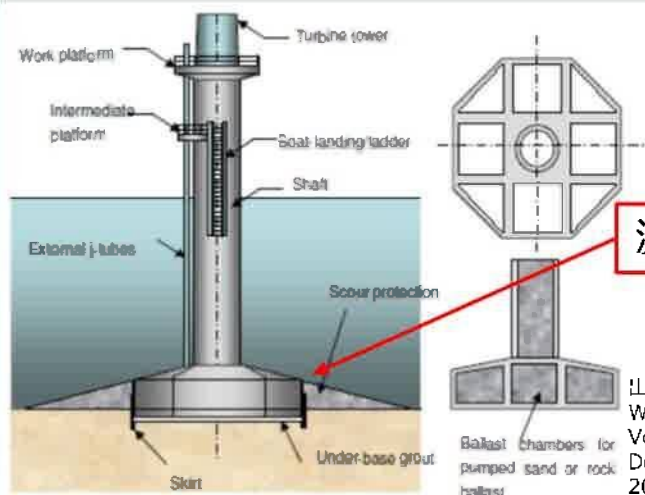
概要

- ・浅海域（水深30m程度）で使用される。
- ・地盤が岩など硬い場合に使用される（ただし、事前に整地が必要）
- ・軟弱な海底地盤の場合、浚渫が必要となる。

海底の整地・浚渫等

- ・事前に整地や浚渫が必要な場合がある。
- ・場合によっては、基礎捨石投入等を行う。

イメージ



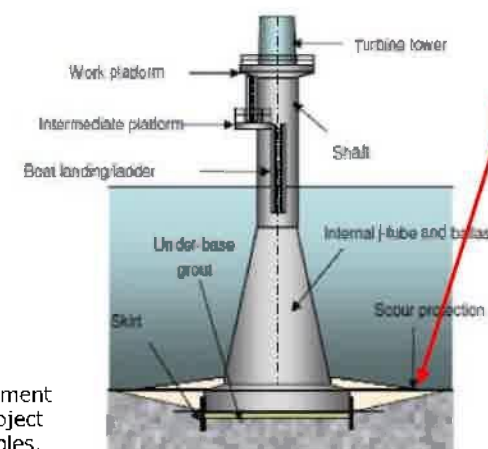
洗掘防止工

出典：TRITON KNOLL OFFSHORE WIND FARM, Environmental Statement Volume 1: Chapter 6 – Outline Project Description, RWE npower renewables, 2012



基礎へのバラストの詰め込み

出典：Neart na Gaoithe Offshore Wind Farm Environmental Statement Chapter 5 Project Description, Mainstream renewable power, 2012



洗掘防止工

出典：TRITON KNOLL OFFSHORE WIND FARM, Environmental Statement Volume 1: Chapter 6 – Outline Project Description, RWE npower renewables, 2012



根固め・洗掘防止工のイメージ

出典：Neart na Gaoithe Offshore Wind Farm Environmental Statement Chapter 5 Project Description, Mainstream renewable power, 2012

1. 事業特性に関する事項

洋上風力発電所の基礎形式（ジャケット式）

	基礎工事等の概要
概 要	・浅海域（水深50m程度）で使用する。 ・地盤が砂質、泥質、岩質（重力・ジャケットのハイブリッド式）の場合に使用される。
海底の整地・浚渫等	・ジャケットの基礎周辺の事前の整地が必要な場合がある。 ・場合によっては、基礎捨石投入等を行う。
イメージ	出典：Hornsea Offshore Wind Farm Project One, Environmental Statement Volume 1 – Introductory Chapters Chapter 3 Project Description, 2013 出典：DOGGER BANK TEESIDE A & B, Environmental Statement Chapter 5 Project Description, FOREWIND, 2014 ジャケット式の設置状況 出典：BURBO BANK EXTENSION offshore wind farm, Environmental Statement Volume 1 – Introductory Chapters 1-7, DONG Energy Burbo Extension, 2013

洗掘防止工

1. 事業特性に関する事項

洋上風力発電所（風力発電機の据付）

	風力発電機の据付作業の概要		
概 要	・海底に固定した基礎（モノパイル等）の上に、トランジションピース、タワー、ナセル、ブレードの順番で設置される。		
イメージ			
	風力発電機の据付作業		

出典：TRITON KNOLL OFFSHORE WIND FARM, Environmental Statement Volume 1: Chapter 6 – Outline Project Description, RWE npower renewables, 2012

出典：TRITON KNOLL OFFSHORE WIND FARM, Environmental Statement Volume 1: Chapter 6 – Outline Project Description, RWE npower renewables, 2012

1. 事業特性に関する事項

洋上風力発電所（海底送電ケーブルの敷設）

海底の整地・掘削	・ケーブルの敷設に先立ち、海底を整地、掘削する。 ・海底が砂泥の場合は、水流による掘削、ケーブル埋設を同時に行う場合もある。 ・海底が岩盤の場合は、岩盤掘削機で掘削、又は被覆する。
ケーブルの運搬、敷設	・ケーブルの敷設は、通常、ケーブルを載せたケーブル敷設船とROV（ウォータージェット式埋設機：掘削、埋設を同時に行う機械）を用いて行う。
ケーブルの埋設等	・底引き網や投錨等による損傷を防ぐため、ケーブルを埋設又は被覆する。 ・海底が砂泥の場合、砂泥を掘削してケーブルを埋設する。 ・海底が岩盤の場合、主にケーブルの上に砂利や鋼管等で被覆する。

イメージ



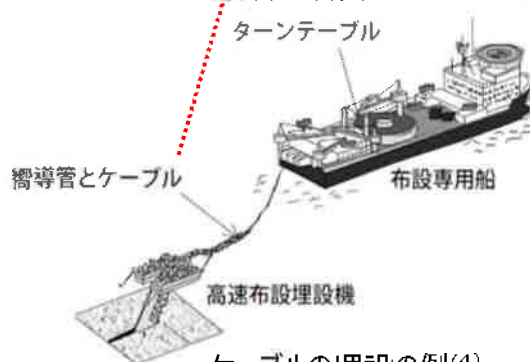
ROV（敷設埋設機）(1)



海底送電ケーブル敷設専用船(2)



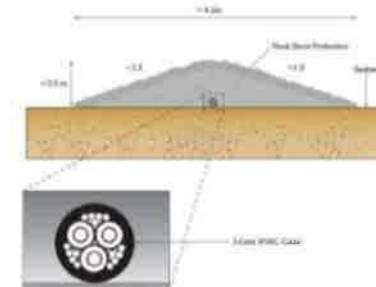
ケーブルの被覆の例(3)



ケーブルの埋設の例(4)



海底ケーブル敷設(5)



ケーブルを被覆した場合の断面(3)

出典：(1)TRITON KNOLL OFFSHORE WIND FARM, Environmental Statement Volume 1: Chapter 6 – Outline Project Description, RWE npower renewables, 2012
 (2)Hornsea Offshore Wind Farm Project One, Environmental Statement Volume 1 – Introductory Chapters Chapter 3 Project Description, 2013
 (3)DOGGER BANK TEESIDE A & B, Environmental Statement Chapter 5 Project Description, FOREWIND, 2014
 (4)直流500kV光複合海底OPケーブルプロジェクトの完成、占河電工時報、2000年
 (5)第4回 千葉県銚子市沖における協議会 資料5 千葉県銚子市沖洋上風力発電事業 概要説明

2. 環境影響評価の項目に関する事項

2.1 水質

水質1 水の濁りに関する国内の予測結果の例

【資料の概要】

・国内の洋上風力発電所に係る環境影響評価図書における杭打作業（モノパイル式）に伴う水の濁りの予測結果を取りまとめた。

【記載内容の概要】

・環境影響評価図書における水の濁りの予測結果では、水産用水基準2mg/L以上負荷された水の濁りが発生すると予測された範囲は最大で400mである。

表 環境影響評価図書の予測結果による水の濁りの影響範囲

事業名	現況値（SS）	最大影響範囲	備考
むつ小川原港洋上風力発電事業	<1~2mg/L	2mg/L ^{（注1）} 以上の範囲が約12m	掘削工、流速0.15m/s
（仮称）安岡沖洋上風力発電事業	0.3~1.9mg/L	2mg/L以上の範囲が約400m	浚渫工
（仮称）能代港洋上風力発電事業	<1~5mg/L	2mg/L以上の範囲が約200m	杭打作業
（仮称）秋田港洋上風力発電事業	<1~10mg/L	2mg/L以上の範囲が約200m	杭打作業
（仮称）石狩湾新港洋上風力発電事業	<1~4mg/L	2mg/L以上の範囲が約4m	捨石工、流速0.05m/s
（仮称）秋田県北部洋上風力発電事業	<1~5mg/L	2mg/L以上の範囲が約200m	杭打工
鹿島港洋上風力発電事業	<1~3mg/L	2mg/L以上の範囲が約200m	杭打工

注1)「水産用水基準第8版 2018年版」（公益社団法人 日本水産資源保護協会、平成30年8月）に記載されている基準値2mg/L（人為的に加えられる懸濁物質（水の濁り））

注2) 最大影響範囲は、環境影響評価図書の記載内容又は図面から読み取った。

2.1 水質

水質2 水の濁りに関する事後調査の事例（那覇空港滑走路増設事業）

【資料の概要】

監視調査の目的：水の濁りは、数値シミュレーションにより予測されており、予測の不確実性の程度は小さいものの、環境保全措置として「濁りの拡散を抑えるための工法や対策を行う」としており、工事の実施に伴う施工状況の変化が想定されるため、環境監視調査を実施する。

監視調査の項目：SS（浮遊物質質量）、濁度

調査時期：濁りの発生する工事施工中に月1回

【事後調査結果の概要】

CODの増加や降雨等によるクロロフィルaの増加、夏季にSS、濁度が一時的に高い地点がみられたものの、概ね工事前の変動範囲内にあり、事業による大きな影響はないと考えられる。

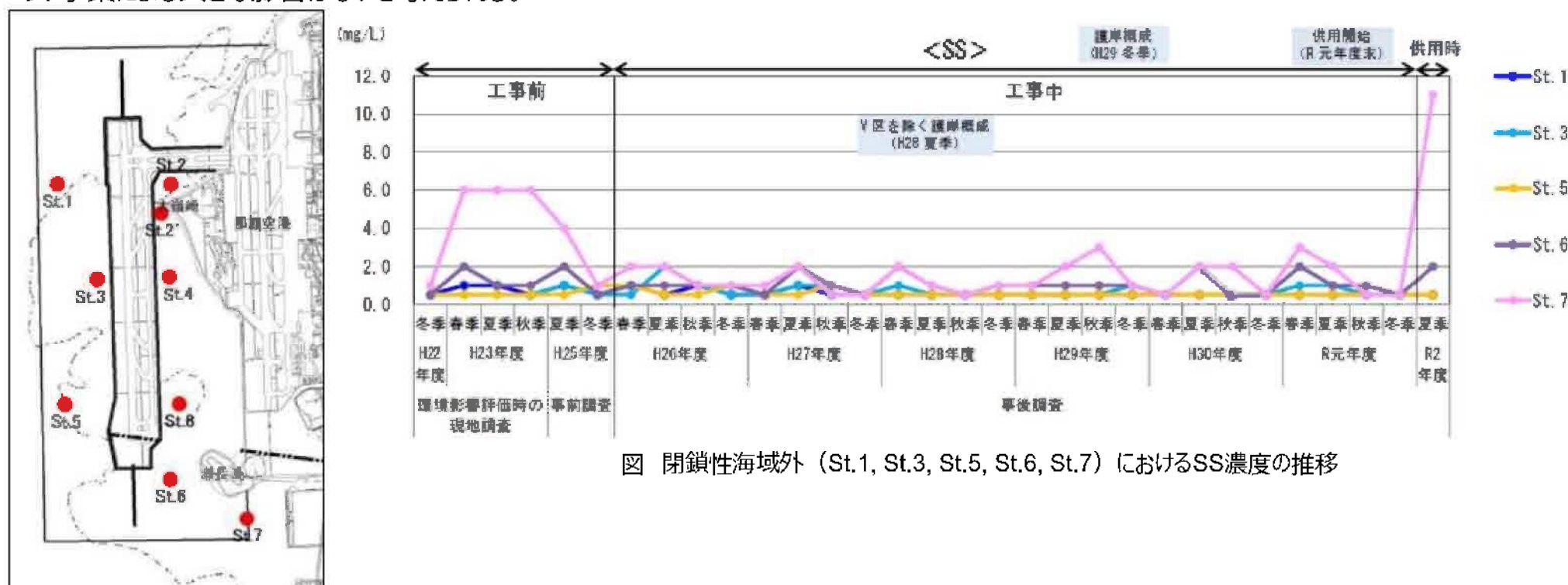


図 閉鎖性海域外（St.1, St.3, St.5, St.6, St.7）におけるSS濃度の推移

出典：「那覇空港滑走路増設事業に係る報告書」（内閣府沖縄総合事務局・国土交通省大阪航空局、令和3年6月）

2.1 水質

水質2 水の濁りに関する事後調査の事例（関西国際空港及び関連事業）

【資料の概要】

工事内容：護岸部では捨石工、上部工及び消波ブロック工が行われた。

調査時期：工事施工中、年4回

調査地点：空港島周辺の4点と内部水面3地点

保全措置：濁りの影響を軽減するため、汚濁防止膜の設置、山砂の品質管理、潮流の速度・方向を考慮した土砂投入などを行った。

【事後調査結果の概要】

調査結果：事業者の測定結果（空港島周辺及び内部水面）と、空港周辺海域で大阪府が実施している水質常時監視結果との間に大きな差は認められず、環境基準が設定された項目における適合状況においても、両者はほぼ同レベルであった。

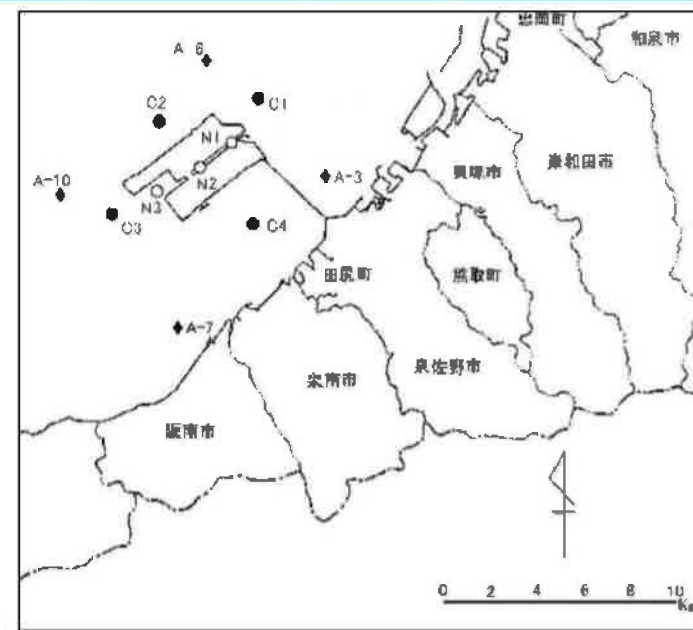


表2-3-3 海域水質の調査結果（四季調査）

事業		関 西 国 際 空 港				大阪湾常時監視				
項目	測定点数	4 点		3 点		4 点				
		(C1, C2, C3, C4)		(N1, N2, N3)		(A-3, A-6, A-7, A-10)				
	区分	最小値	～ 最大値	平均値	最小値	～ 最大値	平均値			
S S (mg/L)	上層	1	～ 3	2	1	～ 2	2	<1	～ 3	3
	下層	1	～ 3	2	2	～ 5	3	<1	～ 5	3
透明度 (m)		3.4	～ 10.2	6.5	3.9	～ 9.8	6.0	2.0	～ 8.6	5.1
水温 (℃)	上層	9.2	～ 29.5	18.3	9.2	～ 28.9	18.4	8.5	～ 29.8	20.0
	下層	9.8	～ 24.2	17.3	9.9	～ 24.3	17.2	8.8	～ 25.8	18.4

出典：「関西国際空港及び関連事業に係る環境監視結果平成20年度報告書」（関西国際空港環境監視機構、平成21年8月）

2.1 水質

水質3 水の濁りに関する事後調査結果（英国ラウンド1）

【資料の概要】

英国エネルギー・気候変動省（DECC）は、英国ラウンド1等における工事中の水の濁り等を対象に、環境影響評価書の予測結果と実際のモニタリング結果を比較し、予測の妥当性と環境影響の程度を整理した。

【記載内容の概要】

工事中の水の濁りのモニタリング結果は環境影響評価書と同様であり、重大な影響はないと考えられる（unlikely to have been any significant impact）と結論づけている。

表 英国等における工事中の水の濁りの状況

事業名	海岸線からの距離	水深	基数等	環境影響評価書での予測結果	事後調査で観測された影響
North Hoyle	7km	5-12m	2MW×30基	10%以下の増加	建設工事に伴い5%未満の増加を確認
Kentish Flats	10km	3-5m	3MW×30基	バックグラウンドの2倍まで増加	・1本目のケーブル敷設は大幅な増加無し ・2本目、3本目のケーブル敷設では、バックグラウンドレベルの9%の増加
Scroby Sands	2.5km	0-8m	2MW×30基	動的な海域であるため、影響は想定されない	工事期間中、9～11%増加を確認（波高が増加した時期による影響と想定）。
Barrow	7km	15-20m	3MW×30基	バックグラウンド濃度が高いため、重大な影響はない	増加は少なく局所的であった。海底から1～2mの高さで浮遊していた。
Nysted (Denmark)	11km	6-9m	2.3MW×72基	わずかの増加を想定	わずかな増加が見られたが、いずれも一時的かつ局所的であった。
Horns Rev I (Denmark)	18km	10-20m	2MW×80基	バックグラウンド濃度が高いため、重大な影響はない	影響は軽微であった。

注：海岸線からの距離、水深、基数等の情報を追記した。

2.1 水質

水質4 水の濁りに関する事後調査の事例（海底送電ケーブルの設置）

【資料の概要】

英国ビジネス企業規制改革省（BERR）は、欧州の事後調査結果等をもとに、洋上風力発電所の海底送電ケーブルの設置に係る環境影響や環境保全措置等に係るガイドラインを取りまとめた。

【記載内容の概要】

- ・海底送電ケーブルの設置に伴う環境影響のうち、水の濁りについては、洋上風力発電所の複数の事業において事後調査が行われており、その結果は表に示す通りである。
- ・海底送電ケーブルの設置に伴い発生する水の濁りは、短時間でかつ局所的であると考えられる。

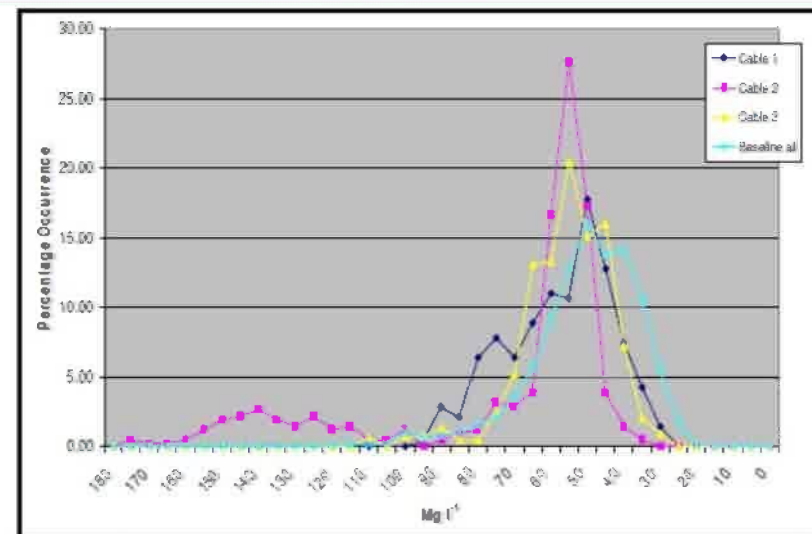


図 海底送電ケーブル設置に伴う水の濁り濃度ごとの出現頻度

表 工事中の水の濁りの状況（海底送電ケーブル）

国名	事業名	環境影響評価での予測結果	事後調査結果
英国	Kentish Flats	バックグラウンド値の2倍	・海底送電ケーブル設置に伴う水の濁りのガイドライン値を、許認可の条件として「ガイドライン値最大値1,000mg/L以下及び、30分以内に300mg/L以上増加しない」と設定した。 ・事後調査の結果は、ガイドライン値を満足し、影響もわずかであった（図参照）。 （平均水深：5m、海底の地質：粘土質及び砂質）
デンマーク	Nysted	わずかな増加が予測される	・BG値は最小値0から最大値27.6mg/L、平均3.3mg/Lであった。 ・デンマーク政府は、工事区域は事業計画地の周囲200mとし、<u>周囲200mで平均15mg/L以下とするガイドライン値を設定。</u> ・海底送電ケーブル設置に伴う掘削、ジェットティング、埋戻しの各工程でガイドライン値を満足した。 （水深：6-9.5m、海底の地質：中粒砂にわずかにシルト・粘土を含む）

2.1 水質

水質5 水の濁りに関する英国における事後調査のレビュー結果

【資料の概要】

英国海洋管理機構（Marine Management Organization : MMO）は、比較的沿岸で実施されたラウンド1,2の19の洋上風力発電事業の許認可条件に含まれた事後調査報告書のレビューを行い、今後の許認可において、事後調査を行うべき項目及び手法等を取りまとめた。

当該報告書のうち、水の濁りについては、下記の通り記載されている。

【記載内容の概要】

- ・水の濁りを対象とした事後調査について、2005年当初は予測結果の妥当性を検証するために実施された。その後は、事業実施区域周辺に生息する海生生物（牡蠣やエビ、ニシンなど）への影響が懸念される場合を対象に、事後調査が実施された。
- ・事後調査報告書をレビューした結果、工事に伴う水の濁りの発生は局所的かつ一時的であった。また、その影響の程度は自然変動の範囲内であり、かつ環境影響評価図書の予測結果の範囲内であった。
- ・このため、今後は、水の濁りの事後調査は許認可条件に含める必要はない。ただし、事業実施区域の周辺にニシンの産卵場が存在する場合など、海生生物への影響が懸念される場合は事後調査が必要である。

2.1 水質

水質6 洋上風力発電の環境影響のレビュー資料の記載内容（水の濁りに関する記載の抜粋）

【資料の概要】

米国において、洋上風力発電の導入推進や環境アセスメントの実施にあたって、欧州での事後調査結果等から得られた現在の知見等を整理した¹。

当該報告書のうち、水の濁りについては、下記の通り記載されている。

【記載内容の概要】

- ・欧州の事後調査の結果からは、基礎工事や海底送電ケーブルの工事によって生じる水の濁りの濃度は、下流数百メートルの範囲で、自然変動の範囲に収まる程度である。
- ・チョーク（未固結の石灰岩）のような微細な底質の場合、工事によって拡散するが、15時間以内にバックグラウンド濃度まで低下する。
- ・Lillgrund洋上風力発電所（スウェーデン、2.3MW×48基）の工事では、基礎設置の整地作業に伴うアマモ場やムール貝への影響は確認されなかった。

【資料の概要】

米国東海岸での洋上風力発電の導入に向けて、ニューヨーク州の公益法人であるエネルギー研究開発局は、海底送電ケーブルに関する欧州の知見を取りまとめた資料において、洋上風力発電所の海底送電ケーブル工事に伴う水の濁りに関する知見を整理した²。

【記載内容の概要】

- ・水の濁りの発生の程度は、底質の性状、設置方法、流向・流速の違いによって異なる。
- ・評価は、バックグラウンド値との比較によって行う。
- ・粘土やシルト質の底質では海底送電ケーブルの設置に伴う水の濁りの影響が大きくなるが、砂質、礫質の底質ではバックグラウンド値と同程度である。

出典：

¹ Improving Efficiencies of National Environmental Policy Act Documentation for Offshore Wind Facilities Case Studies Report, BOEM, 2018

² Offshore Wind Submarine Cabling Overview Fisheries Technical Working Group Final Report, New York State Energy Research and Development Authority, 2021

2.1 水質

水質7 水の濁りに関する海域における基準値の例

【資料の概要】

- ・水産用水基準は、水生生物保護のための環境の水質基準として、公益社団法人 日本水産資源保護協会が策定したものである。
- ・海域における水産用水基準として、COD、全窒素、全リン、pHなどが設定されており、そのうち海域における懸濁物質（SS）については、海藻類や貝類、魚類等の濁りの耐忍性に係る知見等を踏まえて、人為的に加えられる懸濁物質（水の濁り）として2mg/Lとされている。
- ・海域での環境影響評価図書における水の濁りの評価にあたっては、海域における水産用水基準と比較している事例がある。
- ・海域では、水の濁り（SS）に関する環境基準は設定されていない。

表 水産用水基準における水域別の基準値

	河 川	湖 沼	海 域
懸濁物質 (SS)	25mg/L以下（人為的に加えられる懸濁物質は5mg/L以下） ・忌避行動などの反応を起こさせる原因とならないこと。 ・日光の透過を妨げ、水生植物の繁殖、成長に影響を及ぼさないこと。	サケ・マス・アユ:1.4mg/L以下（透明度4.5m以上） 温水性魚類:3.0mg/L以下（透明度1.0m以上）	人為的に加えられる懸濁物質は2mg/L以下 ・海藻類の繁殖に適した水深において、必要な照度が保持され、その繁殖と成長に影響を及ぼさないこと。

出典：「水産用水基準第8版 2018年版」（公益社団法人 日本水産資源保護協会、平成30年8月）

2.1 水質

水質8 水の濁りに関する予測手法

【資料の概要】

「港湾工事における濁り影響予測の手引き」（国土交通省港湾局、平成16年4月）では、港湾工事に伴う浚渫工事や土砂投入工事、地盤改良工事による濁りの拡散を予測するために参考とできる情報を取りまとめ、港湾工事に伴う濁りの発生量の計算及び濁りの拡散状況を予測する手法を整理している。

表 定量的予測手法の種類、基本的な考え方及び特徴

種類	基本的考え方		特徴
定量的予測手法	数値シミュレーションによる方法	運動方程式、連続方程式等の非線形連立微分方程式を解いた流れのモデルと濁りの拡散沈降過程を解く水質モデルの組み合わせで計算する方法。 近年では環境影響評価における水質予測手法の主流となっている。	・任意の地形条件、水質条件に対して予測が可能。 ・時間的に変動する複雑な境界条件を考慮することが可能。 ・三次元の現象を表現することには精度的に限界がある。
	解析解による方法	いくつかの条件下で拡散方程式を簡略化し、方程式を直接解くところにより解析解を得る方法	・拡散状況の短期的ミクロ的把握に適する。
	水域分割法による方法	対象水域をいくつかに分割し、各ブロックが完全混合をする仮定の上で平衡解を求める方法	・拡散状況の長期的マクロ的把握に適する。

表 濁り発生原単位の例

工 法	使用船舶	型 式	取扱い土砂			発生原単位 w_0 (t/m ³)	参 考 単 位 時 間 あ た り の 施 工 量 (m ³ /h)	出 典
			粗粒土	細粒土	シルト・粘土分 (%)			
土砂投入工 (捨石工)	グラブ船	5m ³	○		7.0	0.65×10^{-3}	500	39
		4m ³	○		36.0	0.72×10^{-3}	216	38
		3.3m ³	○		13.9	1.40×10^{-3}	150	37
		1.3m ³	○		30.5	6.92×10^{-3}		1, 2
			○		30.5	3.97×10^{-3}		1, 2
			○		30.5	6.22×10^{-3}		1, 2
	底開式バージ船	180m ³	○		36.0	1.31×10^{-3}		46
	捨石船	85m ³	○		11.1	15.76×10^{-3}		5
			○		11.1	12.75×10^{-3}		5
	ガット船	199t		○	94.5	3.57×10^{-3}		4
		300t	○		38.2	18.67×10^{-3}		5

出典：「港湾工事における濁り影響予測の手引き」（国土交通省港湾局、平成16年4月）

2.1 水質

水質9 解析解による水の濁りの拡散予測手法の例

【資料の概要】

- ・解析解による水の濁りの予測にあたっては、工事方法等、現地調査による土砂性状の把握、文献調査等による流動記録の確認が必要である。
- ・北九州市で計画されている浮体式洋上風力発電に係る環境影響評価において、海底送電ケーブルの設置に伴う水の濁りの予測結果では、2mg/Lを超える範囲は2m程度であった。

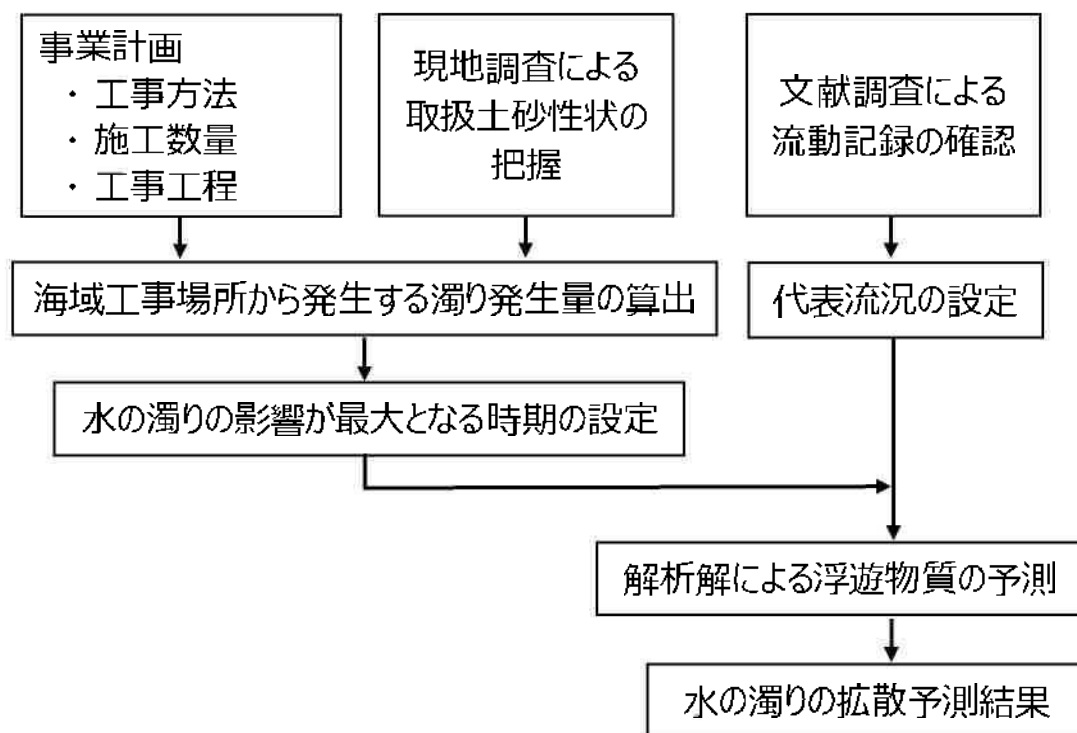


図 水の濁りの拡散予測のフロー図

濁り発生場所からの距離	流下方向 (m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
流れと直角方向 (m)	0	4.7	2.4	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	1	4.7	3.5	2.1	1.3	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
	2	2.4	2.1	1.5	1.0	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
	3	1.4	1.3	1.0	0.8	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0
	4	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
	5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
	6	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	10	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

注) 網掛けは、水の濁りが 2.0mg/L を超える値を示す。

図 解析解による水の濁りの予測結果の例
(海底ケーブル設置の場合)

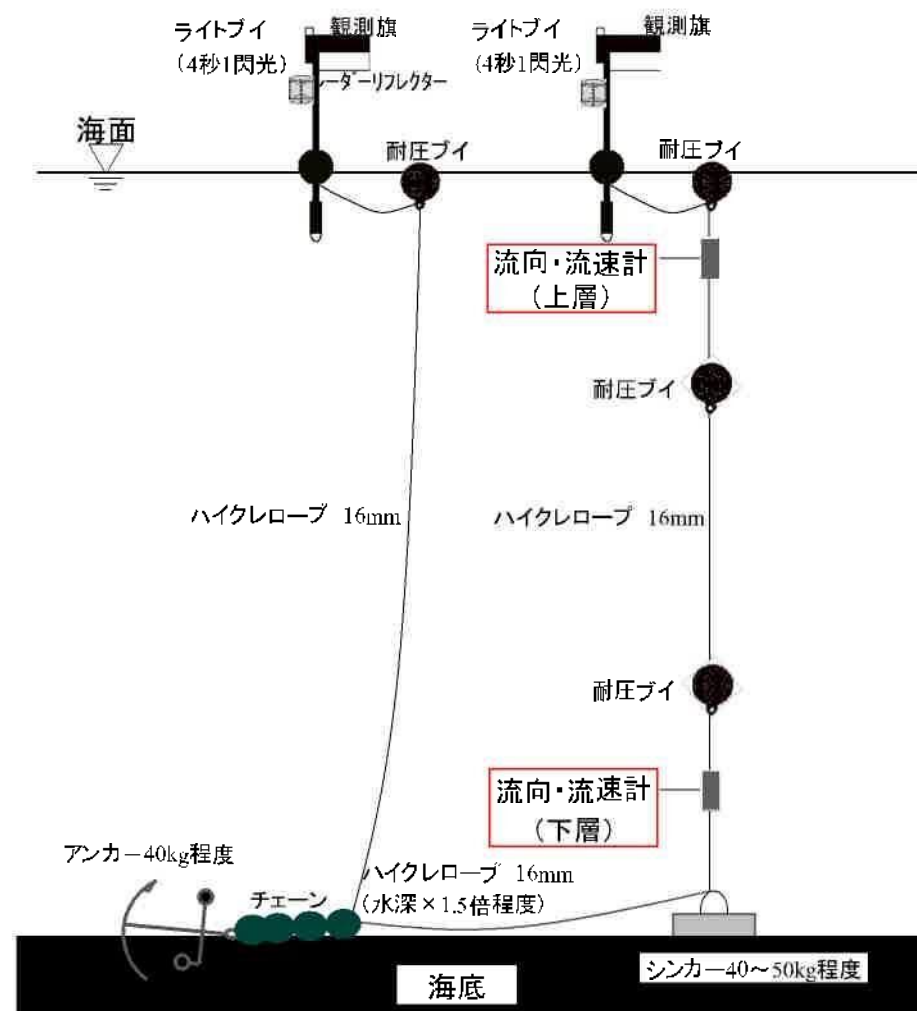
出典：次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究（要素技術実証）環境影響評価準備書、令和5年1月

水質10 水の濁りに係る現地調査手法の例（底質調査）

- ・ 採泥器を調査船から垂下し、海底表層の底質を採取し、粒度組成を把握する。
- ・ 調査地点は、底質が異なる可能性を考慮し、水深、河川等の流入、岩礁域の分布等を考慮して設定する。
- ・ 底質（粒度組成）の短期的な変化は想定されないため、年1回の実施を基本とする。

水質10 水の濁りに係る現地調査手法の例（流向・流速調査）

- ・ 流向・流速計を設置し、15昼夜連続観測を行う。
- ・ 調査地点は、代表的な地点とする。潮汐流が卓越する場合、汀線が複雑な場合、起伏の大きい海底地形が分布する場合などは、それらの影響を踏まえて設定する。
- ・ 年間の変動を把握するよう、年2回を基本に調査を行う。1回の調査では15昼夜以上とする。



流向・流速計設置イメージ

2.2 底質

底質に関する環境影響評価における現地調査結果の例

【資料の概要】

国内の洋上風力発電所の環境影響評価において底質（有害物質）の現地調査を行った4事業（北海道石狩湾、青森県むつ小河原、北九州市響灘、長崎県西海江島）の結果を確認した。

【現地調査結果の概要】

現地調査の結果は、「水底土砂に係る判定基準（「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令第5条第1項に規定する埋立場所等に排出しようとする金属等を含む廃棄物に係る判定基準を定める省令」）で対象となっている項目において、全ての項目で当該基準を満足していた。また、ほとんどの項目で検出限界以下であった。

2.3 コウモリ類

コウモリ類1 コウモリ類に関する北海における確認の例（1/2）

【資料の概要】

ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。

【記載内容の概要】

- ・北海のベルギー国の海域において2014年秋（9/1から11/30のうち48夜）及び2015年春（3/16から7/15のうち45夜）を対象に船舶にバットデテクターを設置して調査を行った結果、4種のコウモリ類の音声を記録した。
- ・秋季調査でコウモリの音声を記録した日は、平均風速1.6m/sの好天時（9/18-19）及び平均風速5.3m/sの好天時（9/23-24）であった（下図参照）。
- ・音声がよく確認された地点は沿岸の港湾であった。
- ・本報告書に取りまとめられた、北海におけるコウモリ類の移動・渡りに関する知見は以下の通りである
- ・ほとんどのコウモリは数百kmの移動であるが、複数の種はスカンジナビア半島から欧州中央部まで2,000kmの渡りを行うことが知られている。Ahlenらは、コウモリ類が洋上を飛行する場合、エコーロケーションを利用し、高度10m以下の低いところを飛行していること、洋上風力発電機の周辺で集まってくる昆虫類を採餌していることを明らかにしている。また、渡りをしない種も洋上風力発電機周辺で採餌しているという報告もある。

表 調査期間中のコウモリ類の音声確認数

Date	Pip nat	Pip pip	Ves mur	Myo dau	Nt
18-19/09/2014	21	93	1	0	1
23/09/2014	0	0	0	1	0
24/4/2015	4	0	0	0	0
DP10	17	6	1	1	1

コウモリ類の音声の確認地点

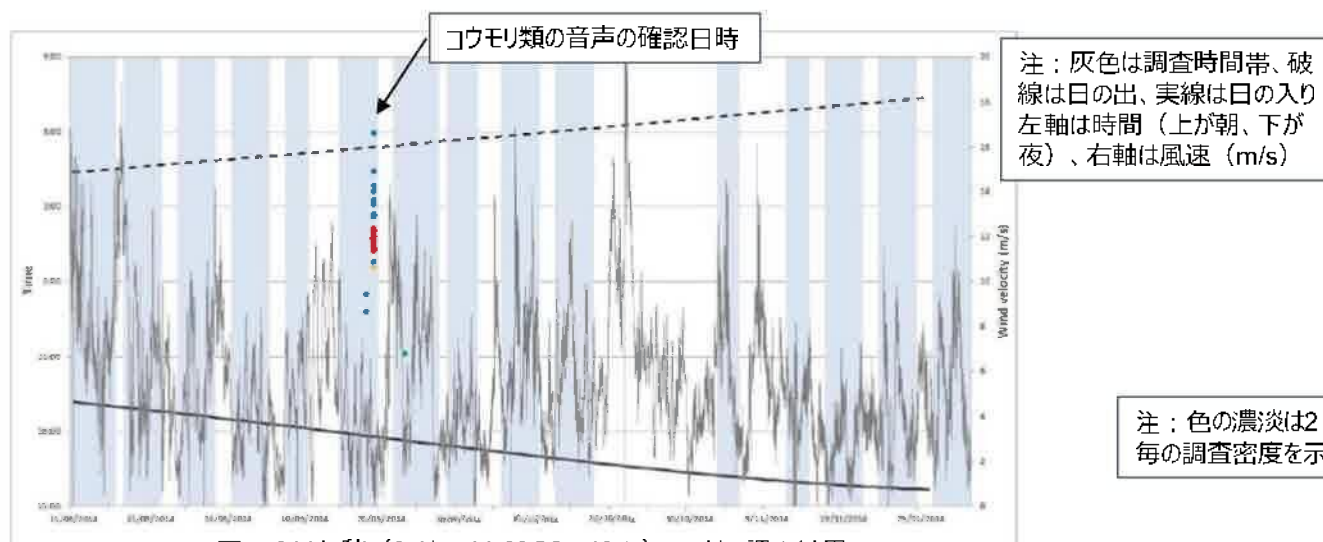
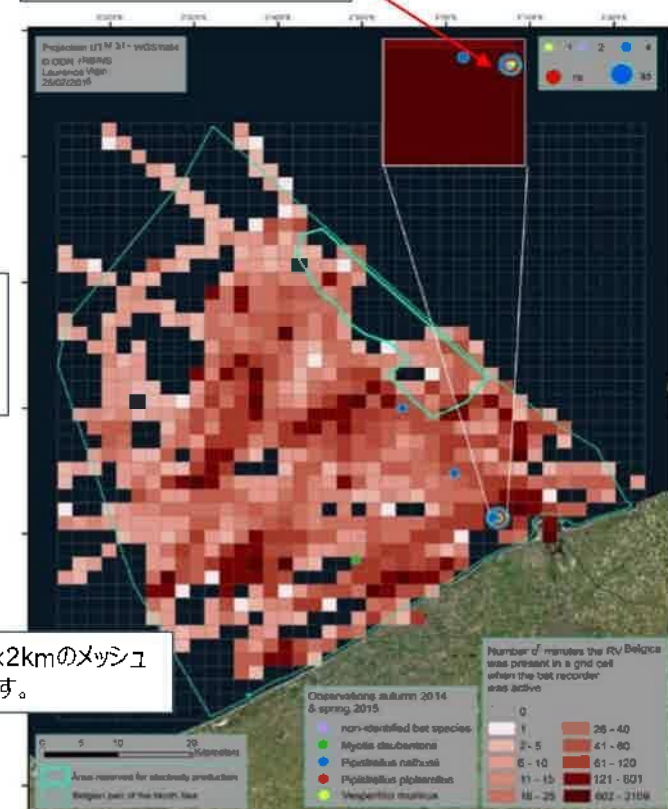


図 2014年秋（9/1から11/30のうち48夜）における調査結果

出典：

¹ Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, Environmental Impact Monitoring, Robin Brabantら, 2016

2.3 コウモリ類

コウモリ類1 コウモリ類に関する北海における確認の例（2/2）

【資料の概要】

英国の海域における再生可能エネルギー事業の戦略的環境アセスメント（SEA）に対する、自然保護団体（Bat Conservation Trust）のコメントには海域でのコウモリ類の移動・渡りに関する以下の情報¹が記載されていた。

【記載内容の概要】

- ・Limpensら（2017年）によると、北海の南部を移動するコウモリは約40,000個体（100から1,000,000個体）と見積もられており、洋上風力発電によるバットストライクが生じる恐れがある。
- ・オランダの海域でのコウモリ類の渡りを調査した、Lagerveldら（2021年）によると、「東北東の追い風が吹き、風速5m/s以下、気温15度以上の条件で、渡りは9月初旬が最も多い」と記載されている。

【資料の概要】

オランダ国公共事業局（Rijkswaterstaat）は、オスパー条約締約国の範囲を対象に、洋上風力発電に伴う環境影響に係る文献をもとに2019年現在の知見を整理した²。

当該報告書のうち、コウモリ類については、下記の通り記載されている。

【記載内容の概要】

- ・海域におけるコウモリ類は、渡りの時期に確認されている。また、コウモリ類の活動は気象条件に強く関係しており、コウモリ類の音声の確認は全て、風速が弱く、降雨がない夜間に確認されている。
- ・陸上風力発電と同様に洋上風力発電においてもバットストライクが生じる可能性がある。しかし、洋上風力発電でバットストライクが生じたことを示した研究は現在までない。

出典：

¹ Offshore Energy SEA4, The Bat Conservation Trust, 2022

² 2019 Update on the Current state of Knowledge on the Environmental Impacts of Offshore Wind Farms, Reinier Zoutenbier et.al., 2019

2.3 コウモリ類

コウモリ類2 コウモリ類に関する海域での飛翔に係る知見

【資料の概要】

SEER¹は、欧州における洋上風力発電の知見及び米国における陸上風力発電の知見をもとに、米国で想定される洋上風力発電所によるコウモリ類及び鳥類への影響を概要ペーパー²に取りまとめている。

【記載内容の概要】

- ・陸上風力発電所の場合と同様に、洋上風力発電所でバットストライクが生じる条件は、7月中旬から10月中旬の3か月間、風速5m/s以下であると想定される。
- ・大西洋の沿岸では少なくとも7種が確認されており、そのうち、樹洞性の種は3種である。
- ・Hatchら（2013年）が記録した、海域での飛翔高度は海面から200mまでの範囲である。
- ・最近のバットディテクターによる調査では、海岸線からの距離が5から130kmで音声を確認されている。
- ・欧州の洋上風力発電所で渡り時期にナセル（高さ97m）とプラットフォーム（高さ17m）の2か所にバットディテクターを設置した結果、活動のほとんどがプラットフォームの高さであり、ナセルの高さでの活動は全体の10%であった
- ・死骸調査ができずバットストライクの状況が不明であるため、遠隔で感知する方法（赤外線カメラ等を含む）を用いたモニタリングが必要である。
- ・バットストライクを避けるための措置としては、陸上風力発電所で行われているように、コウモリ類が忌避する音を発生させる機器の設置が有効である。

¹ 米国で洋上風力発電所を促進するために、洋上風力発電所に伴って生じる影響について、不確実性を減らし、影響の回避、低減を図るために、様々な情報の収集、モニタリング手法の開発を目的に、米国エネルギー省、パシフィックノースウェスト国立研究所、再生可能エネルギー国立研究所（NREL）が中心となって進めているプロジェクト。

出典：

² BAT AND BIRD INTERACTIONS WITH OFFSHORE WIND FARMS, SEER (U.S. Offshore Wind Synthesis of Environmental Effects Research), 2022

2.3 コウモリ類

コウモリ類3 コウモリ類の現地調査手法の例

【調査手法の概要】

- ・ 洋上定点調査は、海上に設置したブイや既存施設に、フルスペクトラム方式バットデテクターを設置する。
- ・ 洋上定点調査の地点は、陸側からコウモリ類が飛翔することを想定し、最も陸側に近い地点に設置する。
- ・ 洋上定点調査は、年3回（5月、7月、8-9月）に、各1ヶ月程度で実施する。
- ・ 洋上ライセンス調査は、調査船により航走し、バットデテクターを用い、ルート上に飛翔するコウモリ類の出現状況を記録する。
- ・ 洋上ライセンス調査は、我が国での海域での飛翔等に関する情報が少ないため、調査範囲を網羅するように、岸沖方向に3測線以上を設置する。
- ・ 洋上ライセンス調査は、年3回（5月、7月、8-9月）に、各回2晩以上で実施する。

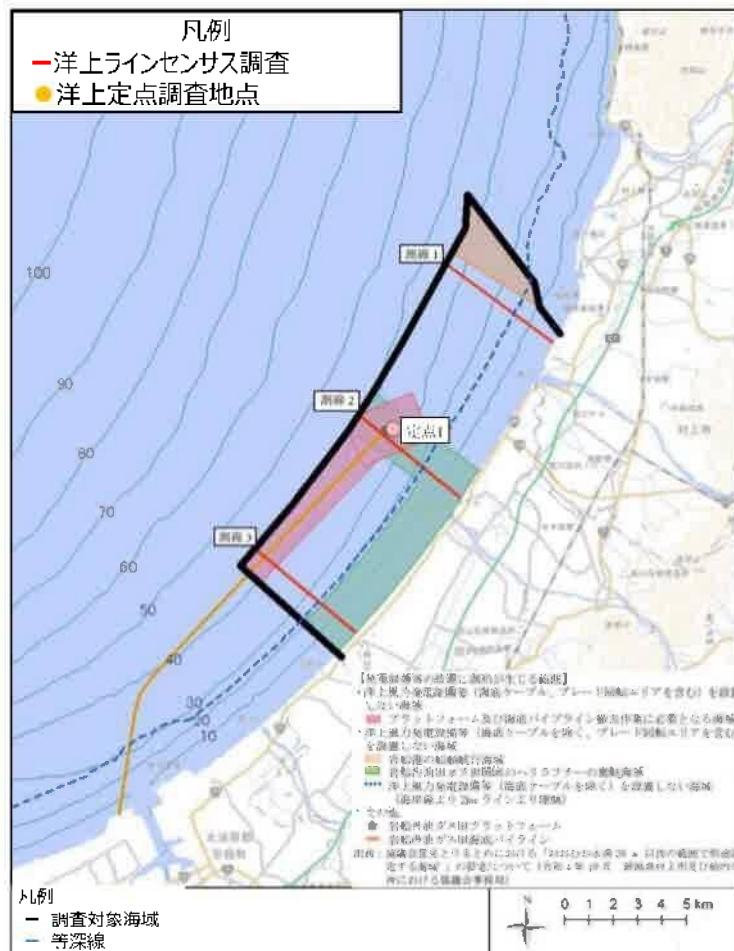
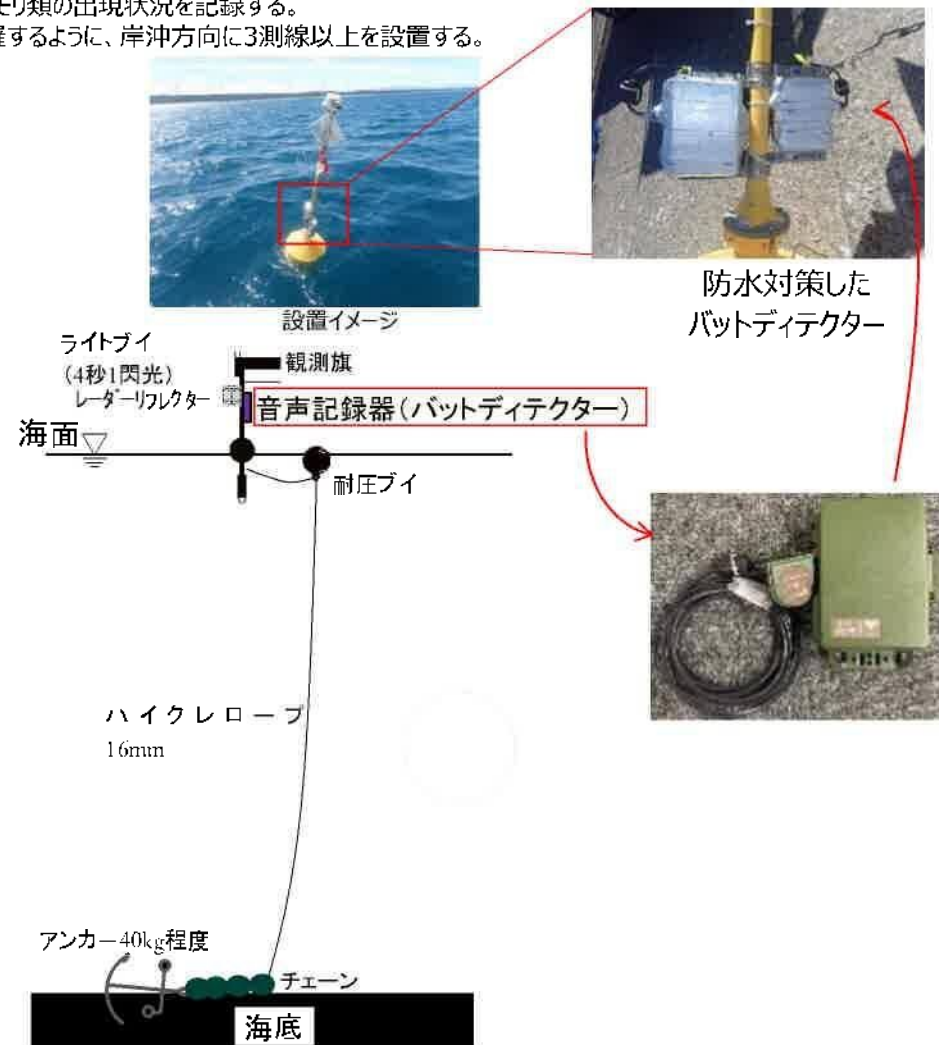


図 調査地点の設定例



小型洋上ブイによる調査の機器設置イメージ

2.4 鳥類

鳥類1 我が国の海域における鳥類の出現状況（飛翔高度）

【資料の概要】

環境省が平成24年～平成28年度に実施した「風力発電等に係る環境アセスメント基礎情報整備モデル事業」において採択した情報整備モデル地区のうち、洋上風力発電を想定した調査を実施したモデル地区を対象として、洋上センサス調査等の鳥類調査の結果から海域における鳥類の出現状況（科別、種別の飛翔高度、離岸距離）を解析した。

【調査結果の概要】

解析にあたっては、海生鳥類相調査で確認された鳥類39科のうち、以下の条件に適合する26科を対象とした。

①環境省レッドリスト掲載種を含む科

②確認個体数が100個体以上の科

科別の飛翔高度の出現傾向は表に示すとおりである。

表 科別の飛翔高度の出現傾向

主な生息域	該当する科	飛翔高度の出現傾向
洋上	アビ科	海面で多く確認されているが、高度区分Mでも確認されている
	ウミスズメ科	海面～高度区分Lで多く確認されている
	アホウドリ科、ミズナギドリ科、ウミツバメ科、カツオドリ科	高度区分Lで多く確認されている
	チドリ科、サギ科	海面～高度区分Lの範囲で確認されている
汀線・干潟等	クイナ科、セイタカシギ科	海面～高度区分Mの範囲で確認されている
	シギ科	高度区分Lで多く確認されている
	ハヤブサ科	高度区分L～Mの範囲で確認されている
	カモ科、カイツブリ科、ウ科	海面～高度区分Mで多く確認されている
汀線・干潟～洋上の広い範囲	カモメ科	海面～高度区分Lの範囲で多く確認されているが、高度区分Mでも確認されている
	モズ科	海面～高度区分Mの範囲で多く確認されている
	ミサゴ科	高度区分Lで多く確認されている
	ハト科、タカ科 ^{注2} 、カラス科、ツバメ科、ヒヨドリ科、メジロ科、アトリ科	高度区分L～Mの範囲で確認されている
陸域	ツル科、タカ科 ^{注2}	高度区分Mで多く確認されている
		高度区分Hで多く確認されている

注1：L：20m以下の高度で記録されたデータ、M：20～200mの高度で記録されたデータ、H：200m以上の高度で記録されたデータ

注2：タカ科には高空を渡るアカハラダカ^{注2}のデータが含まれており、アカハラダカのデータを除くと高度区分Mでの確認が多い。

出典：洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会報告書 資料編、洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会、平成29年3月

2.4 鳥類

鳥類1 我が国の海域における鳥類の出現状況（離岸距離）

【資料の概要】

環境省が平成24年～平成28年度に実施した「風力発電等に係る環境アセスメント基礎情報整備モデル事業」において採択した情報整備モデル地区のうち、洋上風力発電を想定した調査を実施したモデル地区を対象として、洋上センサス調査等の鳥類調査の結果から海域における鳥類の出現状況（科別、種別の飛翔高度、離岸距離）を解析した。

【調査結果の概要】

解析にあたっては、海生鳥類相調査で確認された鳥類39科のうち、以下の条件に適合する26科を対象とした。

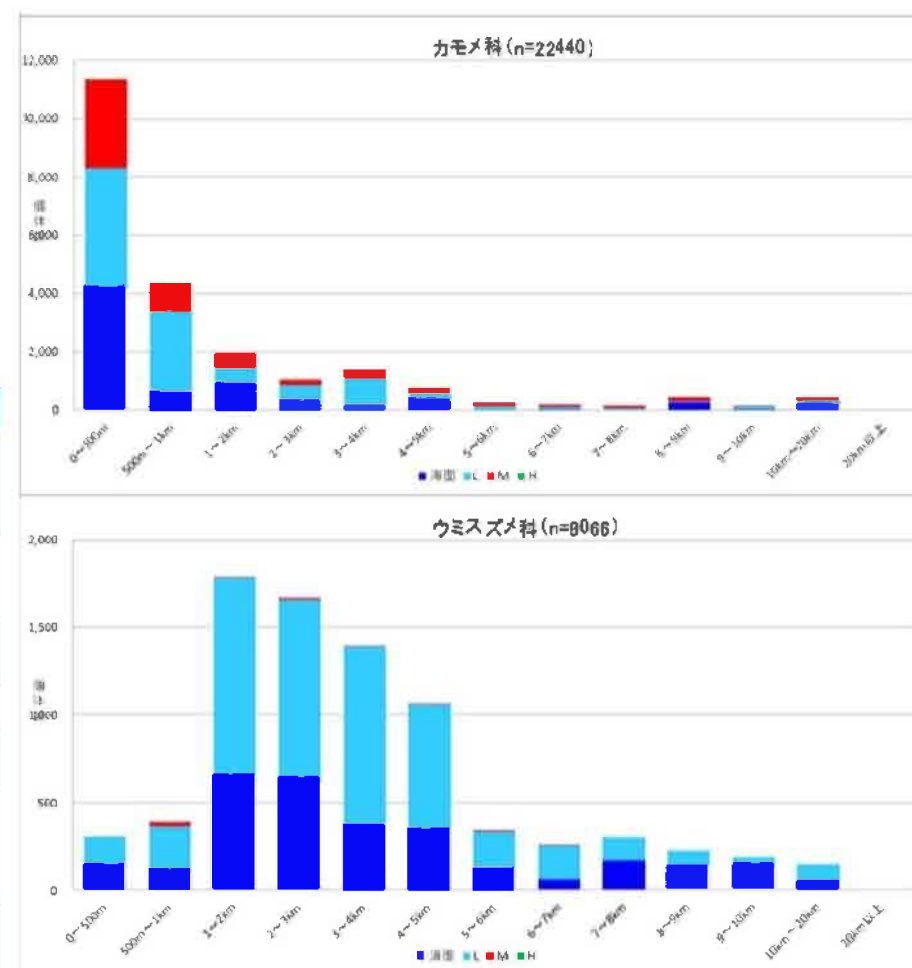
①環境省レッドリスト掲載種を含む科

②確認個体数が100個体以上の科

科別の離岸距離の出現傾向は表に示すとおりである。

表 科別の離岸距離の出現傾向

主な生息域	該当する科	離岸距離の出現傾向
洋上	アビ科、アホウドリ科、ミズナギドリ科、ウミツバメ科、カツオドリ科、ウミスズメ科	海岸から5km以遠まで広く確認された
汀線・干潟等	サギ科、クイナ科、チドリ科、セイタカシギ科、シギ科	海岸から500m以内で多く確認された
	ハヤブサ科	海岸から500m以内で多く確認されたが、1～5km内でも確認された
汀線・干潟～洋上の広い範囲	カモ科	海岸～5km内で多く確認された
	カイツブリ科、ウ科、カモメ科	海岸～5km以遠の範囲で確認された
陸域	ハト科、ツル科、ミサゴ科、モズ科、ヒヨドリ科、メジロ科、アトリ科	海岸から500m以内で多く確認された
	タカ科、カラス科、ツバメ科	海岸から500m以内で多く確認されたが、5km内でも確認された



2.4 鳥類

鳥類2 渡り鳥の飛翔高度、飛翔時間（ベルギーにおける事後調査結果）

【資料の概要】

ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。

【記載内容の概要】

- ・Merlin鳥類レーダー（鳥類の飛翔高度を把握するために垂直方向のレーダーを使用：Sバンド）を用いて、ベルギー国のThornton Bank洋上風力発電所（離岸距離30km）により10月から11月初旬の夜間に渡り鳥を対象に調査を行った。
- ・日中より夜間の方が飛翔高度が高かった。
- ・渡りの時間は、夕暮れが一番多く飛翔が記録され、その次に夜明け前の記録が多かった。

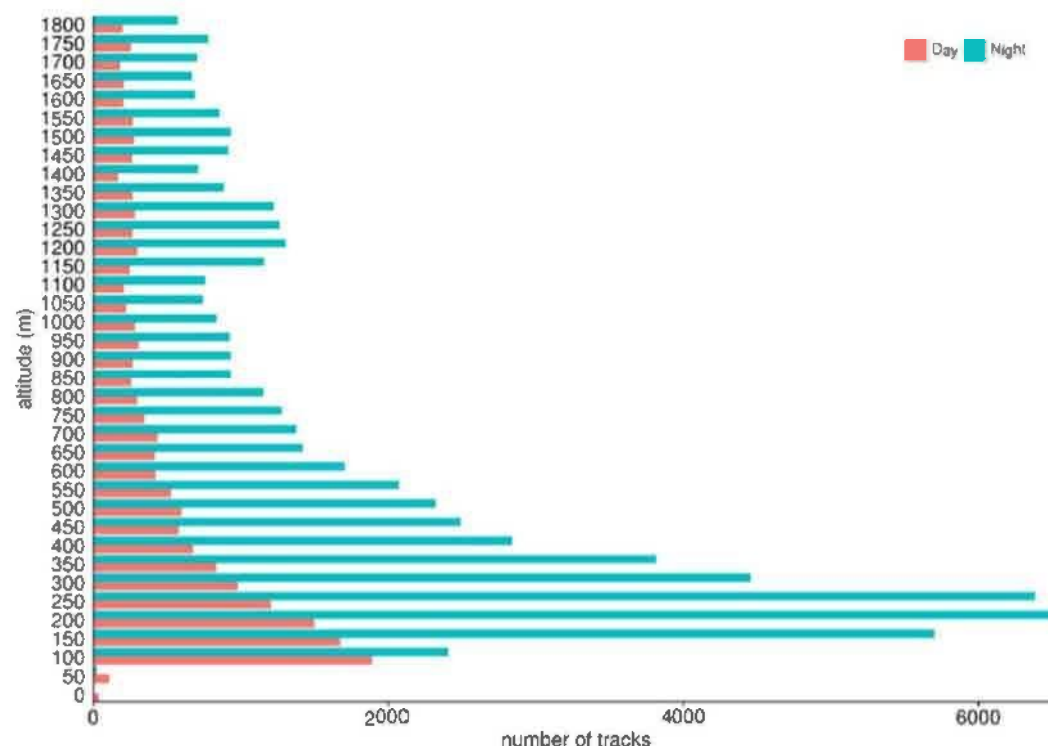


図 鳥類の飛翔高度及び飛翔記録数

2.4 鳥類

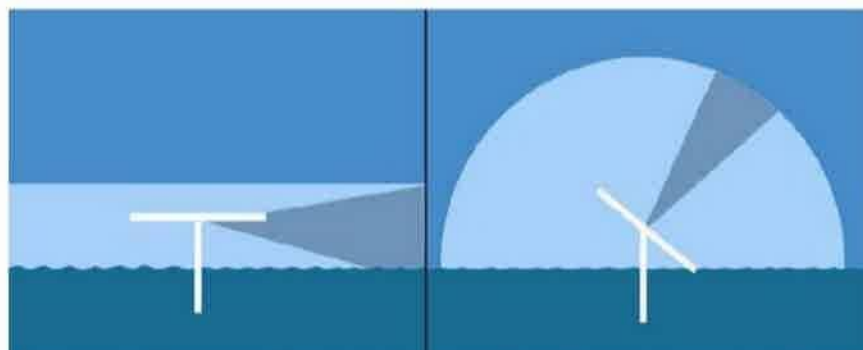
鳥類2 鳥類の飛翔高度、飛翔時間（オランダにおける事後調査結果）

【資料の概要】

オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所（3MW×36基、離岸距離10km）において、2007年4月から2010年6月に実施した鳥類の事後調査結果が取りまとめられている。

【記載内容の概要】

- ・鳥類の飛翔高度は、Merlin鳥類レーダー（垂直方向：Xバンド、水平方向：Sバンド（下図参照））を用いた調査結果によると、渡りの時期は夜間に、277m以上の高度で確認される個体数が多かった。
- ・留鳥は日中、69m以下の低い高度を飛翔していた。
- ・飛翔時間については、夏季及び冬季は朝夕に飛翔個体数が多いが、渡りの時期である春季及び秋季は夜間に多く、特に夜明け前、夕方が多かった。



左図：水平方向にレーダーを照射、右図：垂直方向にレーダーを照射

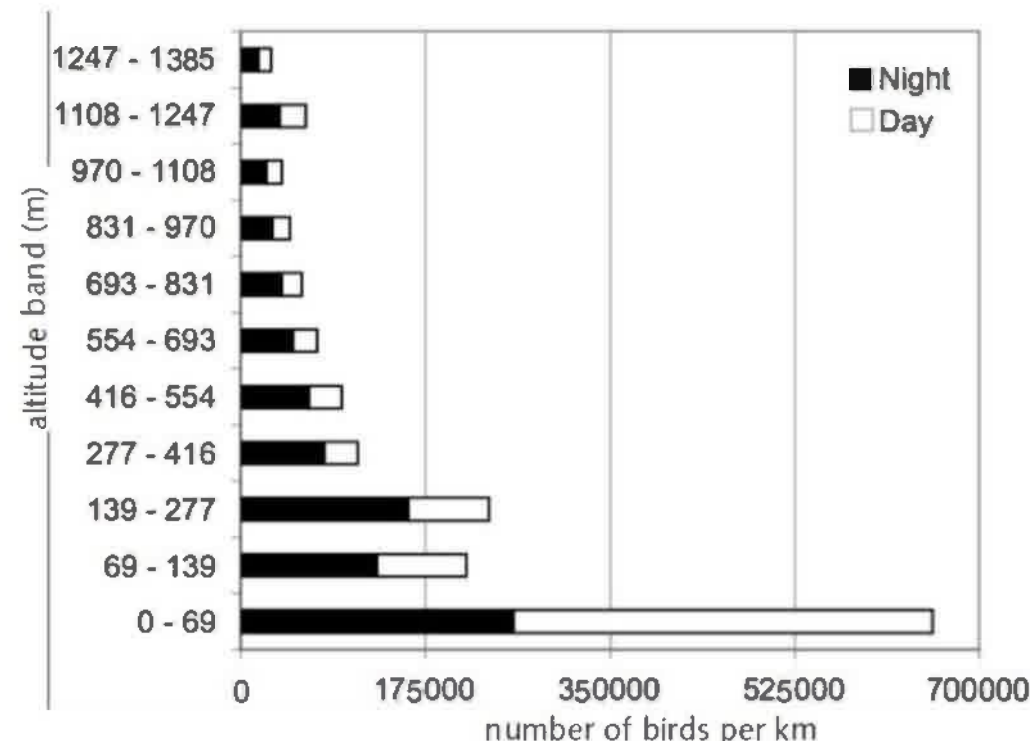


図 鳥類の飛翔高度及び飛翔記録数

2.4 鳥類

鳥類3 稼働後の鳥類相の変化（ベルギーにおける事後調査結果）

【資料の概要】

ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。

【記載内容の概要】

・ベルギー国Thornton bank洋上風力発電所を対象とした稼働後4年間のモニタリング結果では、洋上風力発電がある海域において、northern gannetは97%減、little gullは89%減、black-legged kittiwakeは75%減、common guillemotは69%減と、4種の生息数が減少し、セグロカモメ（Black-Backed gull）は増加した。また、herring gullはベルギー国Bligh Bank洋上風力発電所での確認数が増加した。

2.4 鳥類

鳥類3 稼働後の鳥類相の変化（オランダにおける事後調査結果）

【資料の概要】

オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所（3MW×36基、離岸距離10km）において、2007年4月から2010年6月に実施した鳥類の事後調査結果が取りまとめられている。

【記載内容の概要】

- ・アビ（red throated diver, *Gavia stellata*）及びクロガモ（common scoters, *Melanitta nigra*）は、洋上風力発電所が建設されてから、ほとんどいなくなった。
- ・洋上風力発電所内を通過する鳥類の個体数は、外側と比較して18-34%少なかった。
- ・冬季は回避率が低く18%で、秋季の渡り時期が最も高く34%であった。
- ・日中より夜間の方が回避率が高かった。
- ・飛翔ルート回避行動は種によって異なるが、飛翔ルートを大きく変更するのではなく、洋上風力発電所の手前1-2kmから回避行動を始め、洋上風力発電所を通過して3-4kmしてからもとの飛翔ルートに戻る。このため、鳥類の渡りに関する影響軽減には、風力発電所の配置の配慮が必要である。
- ・個々の風力発電機に対する回避行動を、レーダー及び定点調査で確認したところ、風力発電機の50m以内で、ブレードの回転域に接近した鳥類は確認された個体の7%であった。

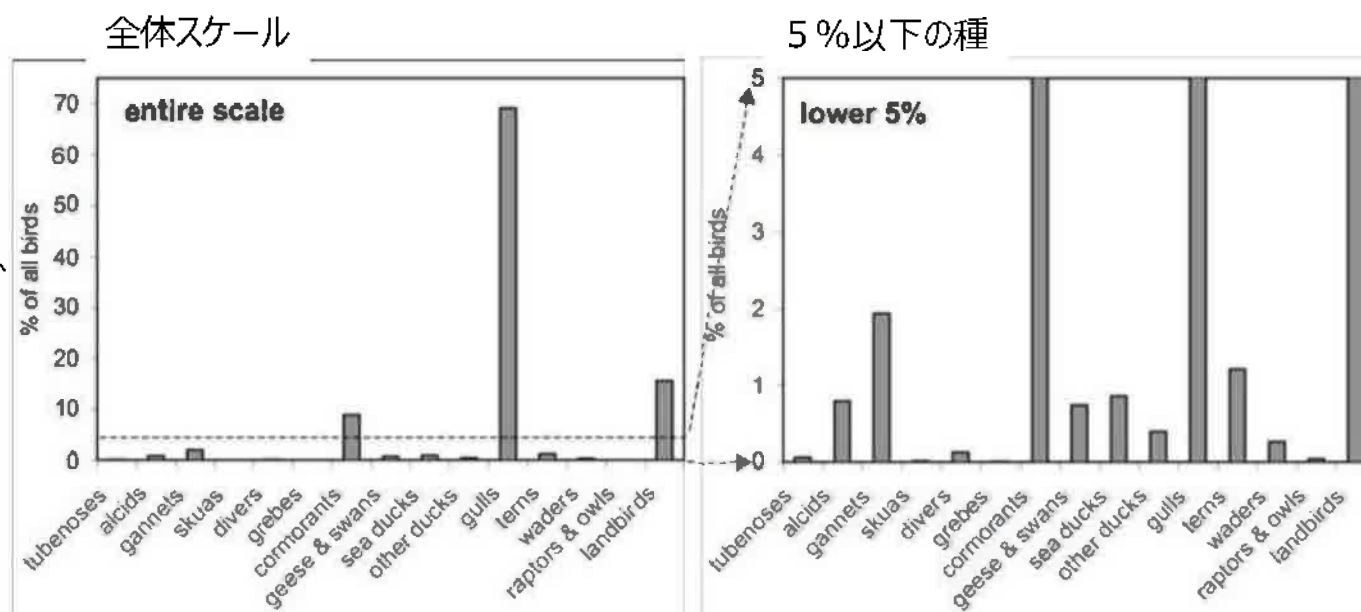


図 事後調査（目視調査）で確認された種及び個体数
調査期間：2007年春から2009年12月
調査回数：53回（春14回、夏12回、秋16回、冬11回）

2.4 鳥類

鳥類4 鳥類の飛翔行動（英国における事後調査結果）

【資料の概要】

・Henrik Skovら（2018）は、英国Thanet洋上風力発電所において20カ月にわたり、バードストライクや、施設の回避等の行動をカメラやレーダー等を用いてモニタリングを行った。

（注） Thanet洋上風力発電所の概要：2010年運開、3MW×100基、海岸線からの距離11km、水深15-25m、風車間距離500m、ブレード高さ（下端25m、上端115m）

【記載内容の概要】

・2014年10月から2016年6月までの間、調査対象種（カモメ類）について2基の風力発電機に対する行動を2か所のカメラで記録したところ、記録された299の飛翔数のうち、風力発電機を横断する前に方向を変更した飛翔数32、風力発電機を横断する前に止まった飛翔数12、飛翔ルートを変更した飛翔数は238であった。

・また、6個体のバードストライクが確認された。

Species	Adjusting			Not adjusting	Collision	Total
	Turns before crossing	Stops before crossing	Crosses with adjustment			
Northern Gannet	4	0	28	1	0	33
Black-legged Kittiwake	0	1	4	0	1	6
Great Black-backed Gull	1	0	12	2	0	15
Lesser Black-backed Gull	0	0	1	0	0	1
Lesser/Great Black-backed Gull (not including species-specific)	6	0	15	1	1	23
Herring Gull	1	0	2	0	0	3
Large gull unid.	9	4	60	0	1	74
Large gulls	17	4	90	3	2	116
Small gull	1	1	3	1	0	6
Gull unid.	9	6	82	2	3	102
Seabird spp.	1	0	29	2	0	32
Other species of seabirds	0	0	2	0	0	4
All species of seabirds	32	12	238	9	4	299

出典：ORJIP Bird Collision Avoidance Study Final Report, Henrik Skovら, 2018

2.4 鳥類

鳥類5 鳥類監視システムの例（1/2）

【資料の概要】

- ・Sjoerd Dirksen（2017）は、洋上風力発電に適用可能な鳥類の検出（detection）及び鳥類の飛翔（fluxes）の把握に関する最新技術を取りまとめている。

【記載内容の概要】

- ・鳥類の飛翔把握にあたっては、調査目的を踏まえたスケールを考える必要がある。
- ・ブレードの回転範囲に入っていく個体の飛翔把握はレーダーでの把握は難しく、ブレードの回転範囲を対象としたカメラ主体のシステムが好ましい（例：TADS, VARS）。
- ・WT-Bird及びTADSは、鳥類を検出し、バードストライクを記録するシステムを有する。WT-Birdは、ムクドリやツグミより小さい種のバードストライクは検出できないが、カメラの位置によってはブレードの回転範囲を小鳥類が日中に多量に通過する場合は可能である。TADSは、全種のバードストライクを記録できる。
- ・VARSは、ブレードの回転範囲に入ってくる全ての鳥類を記録する。このため、バードストライクを直接検出できないが、ブレードの回転範囲を通過する鳥類を正確に記録することができ、衝突確率の計算に使用できる。
- ・ウインドファーム内を飛翔する行動や数を把握する場合、カメラのみでは難しくなり、レーダーを装備したTADSが可能である。また、飛翔高度と数の把握に着目した場合はRobin Radar 3D-Flex, Merlin Radar, BirdScan, BirdTrackが適している。
- ・ウインドファーム外の飛翔を把握する場合、Robin Radar 3D-Flex, Merlin Radar等が適しているが、これらのシステムでは種レベルの把握は難しい。

2.4 鳥類

鳥類5 鳥類監視システムの例 (2/2)

表 洋上風力発電所に適用可能な鳥類監視システムの概要

	システム名	検知システム等	ウインドファーム内外の飛翔把握	コスト(万円)	システム概要
監視策 (ウインドファーム内外)	3D Flex Robin Radar (オランダ)	レーダー	BC	不明	FMCWレーダーと、Sバンド水平レーダーで構成される。最大10km(小鳥は4.5km)に渡り、鳥類の位置、サイズ、スピード、飛行ルートを、昼夜問わず特定できる。
	Merlin Bird and Bat Radar (米国)	レーダー	BC	5,000-10,000(輸送・設置費含む)	200W固定ドップラーSバンド水平レーダーと25kW垂直スキャンレーダーで構成され、水平垂直同時で鳥類検出が可能。オランダのNoordwijkやOWEZでの適用事例有。
	BirdScan MR1 (スイス)	レーダー	BC	不明	垂直方向のパルスレーダーを用いて、鳥類の飛行高度、方向、スピード等を把握する。Alpha VentusやFINO1での適用事例有。回転する風車の影響を受けるため150m以上離す必要がある。
	Birdtrack (ポルトガル)	レーダー	BC	状況による	XバンドとSバンドの2重レーダーシステムで、鳥類を自動検出、追尾するシステム。陸域から洋上に向けて実施した事例がある。
	DHI Scanter 5000 (デンマーク)	レーダー	BC	不明	追尾機能を強化した固定レーダーで、周波数変更可能なもの。種固有のレーダーデータを利用して追尾するため、タービンやローターによる干渉を避けることができる。
	DHI LAWR 25 (デンマーク)	レーダー	BC	不明	観測者とTADSの追尾システムを利用したマグネトロンレーダー。検知ピークが距離1500-2750mのため、高さ10m以下で、85m以内に近づいた鳥類を検出できない。
(タワーへの衝突)	WT-Bird (オランダ)	音/カメラ	(A)	風力発電設備1基当たり 650-1,300	ブレードとタワーに付けられたセンサーでBSを検知。BSが検知された前後30秒の画像を自動で記録する監視システム。オランダOWEZの1基に設置したところ、3/15から7/15の間にカモ類のBSを1回検知。
	TADS - Thermal Animal Detection System (デンマーク)	音/カメラ	A(B)	風力発電設備1基当たり 1,300-2,600	レーダーで捕捉した個体を熱検知カメラ(距離1,000m範囲20°)で記録する監視システム。2つのカメラで8基のブレード回転範囲を記録可能。レーダーで記録された画像のほとんどがエラー。海鳥の画像は全記録0.5-1%で生データのスクリーニングが課題。
	VARS - Visual Automatic Recording System (ドイツ)	音/カメラ	A(B)	風力発電設備1基当たり 260	画像自動記録する監視システム。カメラをハブとタワーの下部に設置し、通過する鳥類を画像で記録。
	ATOM - Acoustic and Thermographic Offshore Monitoring (米国)	音/カメラ	A	状況による	熱検知カメラと音声記録装置で構成される監視システム。北カリフォルニア沖の灯台に設置し、沖合での鳥類の活動に関するデータを2700時間収集した結果、風速10km/hr以下で海鳥の飛翔が見られなくなる、多くの鳥類が午後8時から12時までの間は飛翔高度が1.8倍になるなどの結果が得られた。
防止策	DT-Bird (スペイン)	音/カメラ		対象種や気象条件(着氷等)による	全方位をカバーするように設置した高解像度カメラで鳥類を自動検出し、警戒声の発生又は稼働停止によってバードストライク(以下、「BS」と記載)を防止するシステム。シロカツオドリ(翼開長1.65-1.8m)を日中220-240m、夜間160-170m(熱検知)離れた場所で検出できる。小さい鳥ほど検出距離が短い。2012年の報告では0.5-4.5回/日のエラーが発生しているが現在は改良されている。

注1) A: ブレードの回転範囲の飛翔の測定可能、B: ウインドファーム内の飛翔の測定可能、C: ウインドファーム外の飛翔の測定可能

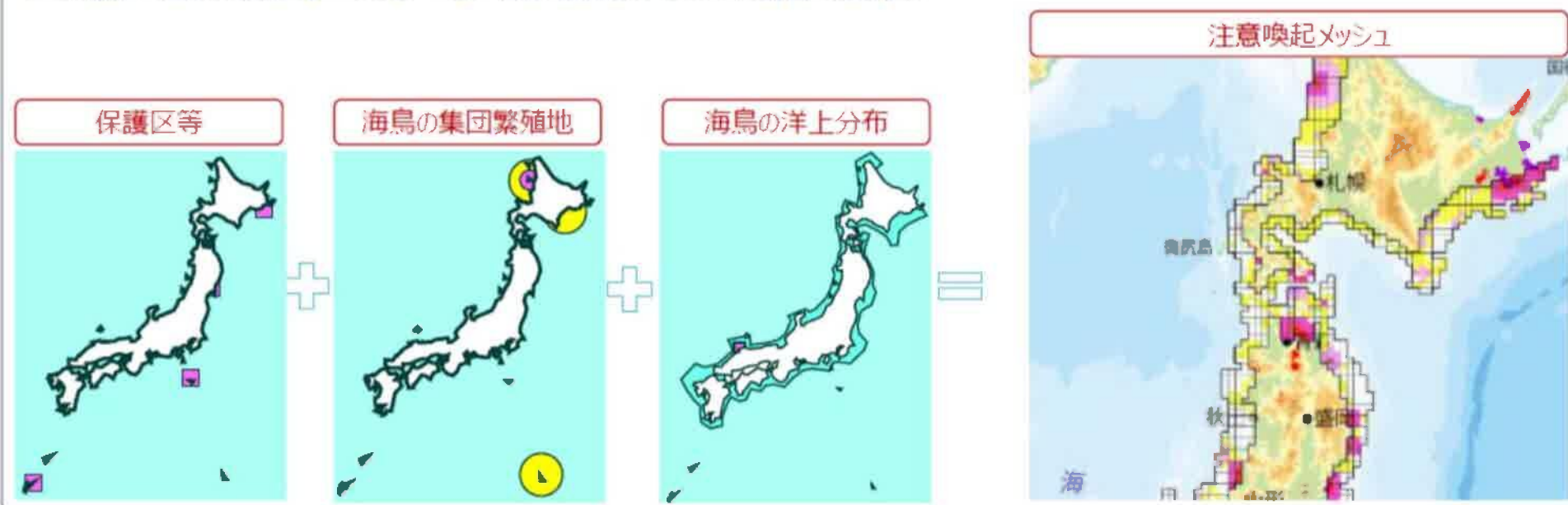
2) コストは1€=130円、1ドル=100円で換算。タワーへの衝突に関する監視システムのコストは風力発電機1基当たりであり設置費は含まない。

2.4 鳥類

鳥類6 風力発電における鳥類のセンシティブティマップ（海域版）

- 「保護区等」「海鳥の集団飛来地」「海鳥の洋上分布」の3つの構成要素をメッシュごとにスコア化し、重ね合わせて6つのレベルで評価。
- 注意喚起レベルに応じて、当該メッシュにどのような重要種が分布するのか、またどのような集団飛来地があるのかを示すことにより、立地検討の参考とし、必要な調査を促す。

- 保護区等：国指定鳥獣保護区、ラムサール条約湿地、希少な海鳥の集団繁殖地のメッシュをスコア化。
- 海鳥の集団飛来地：種の希少性や飛翔高度などから洋上風力発電との関連性を種別にスコア化。
- 海鳥の洋上分布：飛行機による海鳥の分布調査（沿岸3回、沖合1～3回）よりスコア化。
- 評価：注意喚起レベル5～1、低、情報なしの7段階で表示。

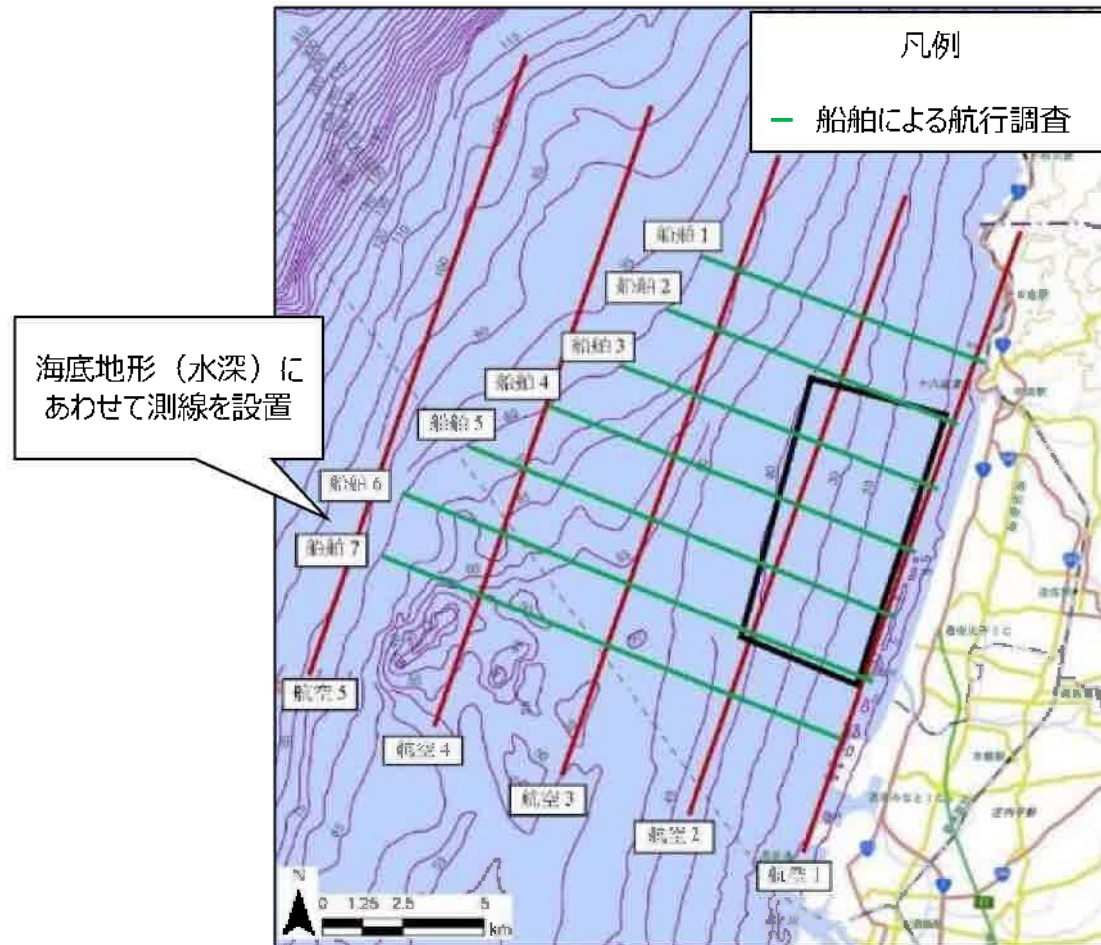


2.4 鳥類

鳥類7 鳥類の現地調査手法の例（船舶ラインセンサス調査）

【調査手法の概要】

- ・ 生息分布・密度を把握するため、船舶を一定速度で航行させ、双眼鏡等を用いて鳥類の種類、個体数及び飛翔高度、行動等を記録する。
- ・ 海鳥類の生息分布は、海底地形や漁礁等の構造物、離島や瀬等の存在に依拠することを踏まえて、調査範囲を設定する。
- ・ 調査時期・頻度等は、年間の季節的な変動を把握するため、4季/年を基本とする。
- ・ 調査日の違いによる調査結果の差が生じないように、全ての測線を同日に実施する。



船舶による調査イメージ

図 調査地点の設定例

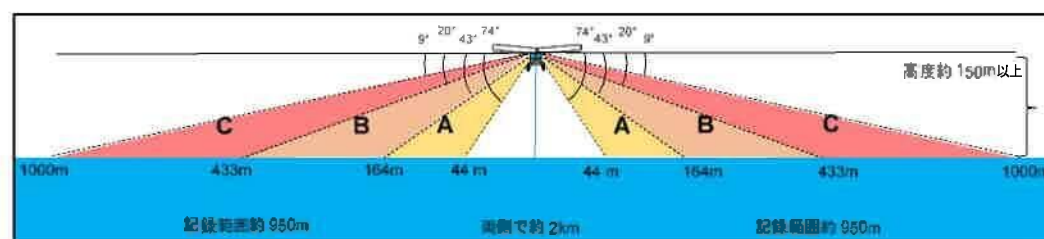
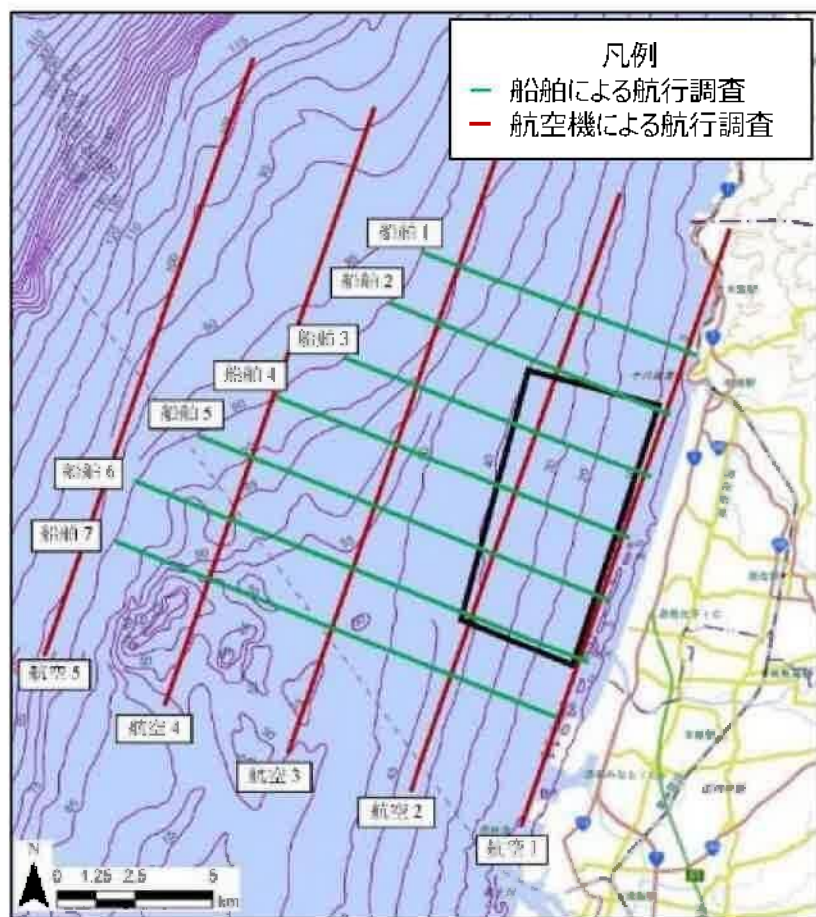
出典：令和4年度洋上風力発電に係る環境影響評価のための環境調査（山形県遊佐町沖）調査計画書

2.4 鳥類

参考：鳥類の現地調査手法の例（航空機ラインセンサス調査）

【調査手法の概要】

- ・ 広域の海鳥の利用状況を把握するため、海岸線に並行に調査測線を設定し、航空機から調査員による海鳥の観察を行う。
- ・ 飛行高度は約150m以上、飛行速度は185～220km/h、観察範囲は片側1,000mを基本とする。
- ・ 事業実施区域内外の生息分布を把握するため、調査範囲は事業実施区域外を含めて設定する。
- ・ 調査時期・頻度は四季、各季1回、1日/回を基本とし、可能な限り船舶ラインセンサス調査と同じ調査時期に実施する。



航空機による調査イメージ

図 調査地点の設定例

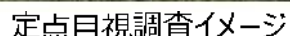
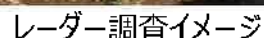
【調査手法の概要】

■レーダー調査

- ・船舶用Xバンドレーダーを設置して、渡り鳥の飛翔状況（飛翔高度、飛翔方向、時期・時間帯等）を把握する。
- ・調査範囲・地点は、レーダーの照射範囲を考慮して、事業実施区域を網羅するように設定する。
- ・調査時期・頻度は、渡り時期を対象に2季以上／年（春季・秋季を基本とし、必要に応じ冬季を追加）とする。
- ・気象条件によって渡りの状況が異なることが想定されるため、各季あたり2回以上の調査（夜間を含む）を行う。

■ 定点目視觀察調査

- ・レーダー調査で記録された鳥類の種名等の情報を得るため、レーダー調査時と同期して、鳥類の種名、個体数、飛翔高度、飛翔方向等を可能な限り記録する。
- ・調査地点は、レーダー調査範囲内に飛翔する鳥類が確認できる地点や、渡り鳥の飛翔が集中することが想定される地点などを設定する。
- ・調査時期・頻度は、レーダー調査とあわせて実施する。



47

2.5 海生哺乳類

海生哺乳類1 工事中の水中音の海生哺乳類に関する事後結果の例

【資料の概要】

- ・ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。
- ・杭打作業に伴う海生哺乳類への影響に係る事後調査結果は以下の通りである。

【記載内容の概要】

- ・ネズミイルカ（harbour porpoise）は、杭打作業中、最大20km離れた場所まで確認数が少なくなったが、20-55kmでは行動の違いが見られなかった。
- ・ネズミイルカの減少が確認された最も遠い地点では、水中音の音圧が159dBであり、「大きな攪乱を生じさせる」という文献の閾値に近かった。
- ・杭打作業は、2016年5月16日から2016年9月22日まで行われ、直径4.5mから6.8m、掘削深は29-39m、掘削時間は1.27hから4.31hであった。
- ・掘削開始30分前には、人工的に水中音を発生させ、ネズミイルカを逃がした後で、ソフトスタートで作業を行った。

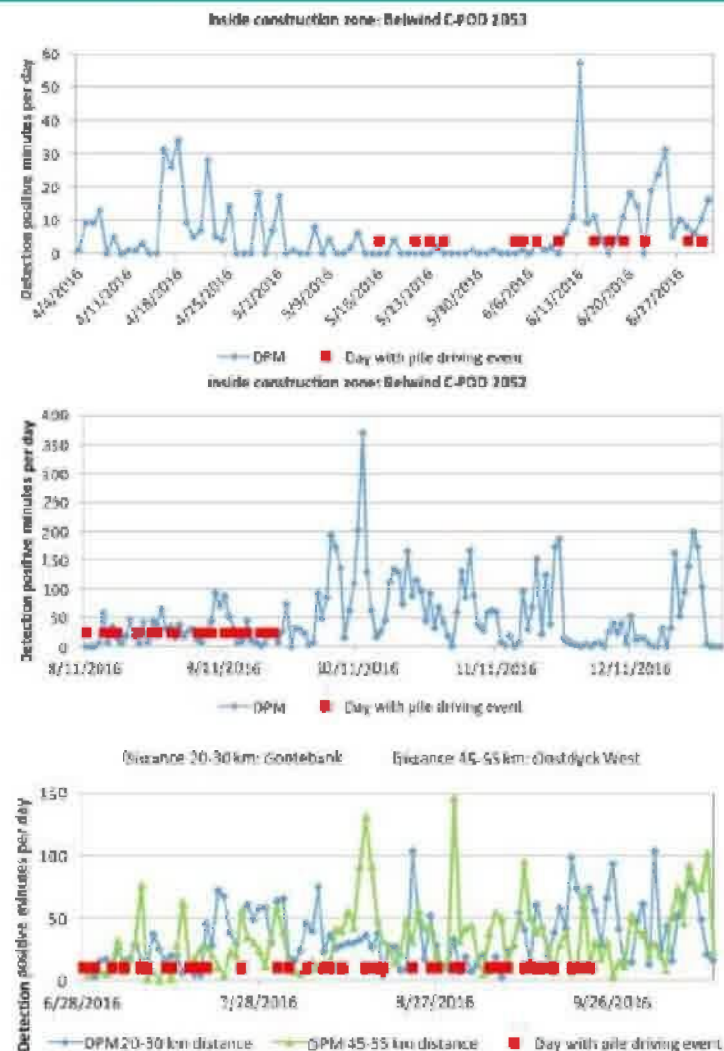


図 ネズミイルカのクリック音検出時間（縦軸）と杭打作業（赤）の関係

2.5 海生哺乳類

海生哺乳類2 工事中の水中音に関するガイドライン値の例（1/2）

【資料の概要】

- ・ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。
- ・ベルギー国内での今後の杭打作業の実施にあたって、ベルギー国のガイドライン値を満足するために必要な環境保全措置を検討するために関連する情報が取りまとめられている。

【記載内容の概要】

- ・ベルギー国で杭打作業を行う場合の水中音のガイドライン値及びオランダ国Borssele洋上風力発電所のガイドライン値を比較整理している。
- ・モノパイルの直径に応じて水中音が大きくなることが想定されるため、風力発電機の大型化に伴い、ベルギー国のガイドライン値を満足するためには環境保全措置が必要であると考えられる。
- ・想定される環境保全措置としては、施工のしやすさやコストから、ピックバブルカーテンが最も現実的であるが、流れが速い場合には効果が不十分な場合もある。

表 杭打作業に係るガイドライン値及び環境保全措置

	ベルギー国内の洋上風力発電所	オランダ（Borssele洋上風力発電所）
ガイドライン値	185dB（750m地点）	160-172dB（750m地点）
保全措置の検討	ガイドライン値を超えた場合は実施	同左
モニタリング手法	政府が適宜実施	事業者が継続的に実施
杭打禁止期間（注）	1月1日から4月30日	1月1日から3月31日（注）
忌避騒音の発生	30分前から実施	同左
ソフトスタート実施	実施する	同左
杭打前の鯨類調査	事業者が実施	実施しない

注）オランダの海域において、ネズミイルカは他の季節と比較して春季（3月）が最も多く確認されていることから杭打禁止期間として設定している（出典：Underwater Noise Social Cost Benefit Analysis, Rijkswaterstaat, 2015）

出典：Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, Robin Brabantら, 2016

2.5 海生哺乳類

海生哺乳類2 工事中の水中音に関するガイドライン値の例（2/2）

【資料の概要】

・スウェーデンの環境保全庁が取りまとめた水中音に関する資料では、欧州における杭打作業に伴う水中音による海生生物への影響や欧米の水中音に係るガイドライン値等が整理されている。

【記載内容の概要】

・海生哺乳類について、行動の変化が見られたり、聴力への影響が生じる可能性がある水中音のガイドライン値が整理されている。

表 国ごとの海生哺乳類に関する水中音のガイドライン値（値の重みづけ無し）

国	ガイドライン値	
デンマーク	1回の衝撃音の閾値 TTS at SEL_{ss} 164dB re 1 μPa^2s PTS at SEL_{Lss} 179dB re 1 μPa^2s	連続の衝撃音の閾値($\geq 1h$) TTS at SEL_{cum} 175dB re 1 μPa^2s PTS at SEL_{cum} 190dB re 1 μPa^2s
米国	衝撃音の閾値 TTS at SPL_{peak} 196dB re 1 μPa or SEL_{cum} 162dB re 1 μPa^2s PTS at SPL_{peak} 202dB re 1 μPa or SEL_{cum} 177dB re 1 μPa^2s	
ドイツ	攪乱の閾値 SEL_{ss} 140dB re 1 μPa^2s	750mでの閾値 SEL 160dB re 1 μPa^2s or $SPL_{peak-peak}$ 190dB re 1 μPa
オランダ	攪乱の閾値 SEL_{ss} 140dB re 1 μPa^2s	750m(Borsseleプロジェクト)での閾値 SEL 159dB re 1 $\mu Pa^2s()$ SEL 172dB re 1 $\mu Pa^2s()$

注) TTS：一時的な聴覚影響、PTS：恒久的な聴覚影響、SPL：最大値、SEL：全体平均値、 SEL_{cum} ：時間当たりの平均値

表 ネズミイルカに関する水中音のガイドライン値

	TTS	PTS
ネズミイルカ	$SPL_{(peak)}$ 194dB re 1 μPa $SEL_{(ss)}$ 164dB re 1 μPa^2s $SEL_{(cum)}$ 175dB re 1 $\mu Pa^2s(\geq 1h)$	$SPL_{(peak)}$ 200dB re 1 μPa $SEL_{(ss)}$ 179dB re 1 μPa^2s $SEL_{(cum)}$ 190dB re 1 $\mu Pa^2s(\geq 1h)$

出典：A framework for regulating underwater noise during pile driving, SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2017

2.5 海生哺乳類

海生哺乳類3 海生生物が回避反応を起こす可能性のある水中音レベル

Table 5 Distance that may cause an avoidant reaction.

【資料の概要】

・明田は、国内外の事例をもとに、洋上風力発電機から生じる水中音が海洋生物に及ぼす影響を整理している。

【記載内容の概要】

・洋上風力発電機から生じる水中音が海洋生物の回避反応を起こす可能性のある距離は表の通りである。

・聴覚閾値音圧レベル90dBht となる音源からの距離を指標とすると、音源からの距離が、歯クジラ類710–1410 m 以内、ヒゲクジラ類320 m 以内、アザラシ類250–1120 m 以内、ウミガメ類30 m 以内、魚類60–350 m以内になると、逃避行動を起こす可能性があるとしている（Table 5：出典1））。Cape wind energy project と同様に、Nedwell et al.10, 15）は North Hoyle, Kentish Flats, Barrow, Burbo Bank において、90 dBht を指標値として、逃避行動を起こす可能性のある距離を算出している（Table 5：出典2, 3））。両者を比較すると、音源音圧レベルや対象海域が異なれば、水中音の伝搬特性の相違によって、同一生物種であっても逃避反応を起こす可能性のある距離が変化することに留意する必要がある、と記載されている。

生物名		回避反応を起こす可能性のある距離 (m) dBht=90 dB re 1 μ Pa から算出					
		1)	2)*	3)*	3)**	3)***	3)****
Toothed Whales	歯クジラ類						
Harbor Porpoise	ネズミイルカ	1,410	7,400	9,000	2,500	10,000	5,000
Striped Dolphin	スジイルカ	790			1,500	4,000	4,000
Bottlenose Dolphin	バンドウイルカ	710	4,600	5,700	1,600	5,000	4,000
White-Sided Dolphin	カマイルカ	710					
Pilot Whales	ゴンドウクジラ	710					
Minke Whales	ミンククジラ	710					
Baleen Whales	ヒゲクジラ類	320					
Hair Seals	アザラシ類			3,000	2,200	6,000	3,000
Harbor Seal	ゼニガタアザラシ	1,120	2,000				
Gray Seal	ハイイロアザラシ	250					
Harp Seals	タテゴトアザラシ	1,120					
Hooded Seals	ズキンアザラシ	1,120					
Sea Turtles	ウミガメ類	<30					
Finfish	魚類						
Tautog	ベラ	180					
Bass	スズキ	100			400	2,000	500
Cod	タラ	350	5,500	5,500	1,600	20,000	2,000
Atlantic Salmon	タイセイヨウサケ	60	1,400	2,000	500		
Herring	ニシン			11,000	2,500	22,000	2,600
Dab	マコガレイ		1,600			4,000	500

1) Final EIR Underwater Noise Analysis. Report NO.5.3.2-2 Prepared for Cape Wind associates, 2006

2) Nedwell et al., Report No.544R0424, COWRIE, 2003

3) Nedwell et al., Report No. 544R0738, COWRIE, 2007

* North Hoyle, ** Kentish Flats, *** Barrow, **** Burbo Bank

2.5 海生哺乳類

海生哺乳類4 稼働後の海生哺乳類の確認事例

【資料の概要】

- ・地中海において、洋上風力発電の導入の検討にあたって、欧州北部で得られた現在の知見や調査手法、環境保全措置等を整理した¹⁾。
- ・当該報告書のうち、稼働後の海生哺乳類について、以下の通り整理されている。

【記載内容の概要】

- ・デンマーク国のHorns Rev1及びNysted1洋上風力発電所を対象に、稼働後にA-Tag調査でネズミルカの行動を確認したところ、洋上風力発電所内外での確認状況はほとんど違いはなかった。
- ・オランダ国のEgmond aan Zee洋上風力発電所では、発電所内でのネズミルカの活動が稼働後に活発になった。漁礁効果又は隣接航路からの逃避であるため、と推定された。
- ・英国のSheringham Shoal洋上風力発電所では、アザラシ類にGPSを装着した稼働後の調査結果では、繁殖地である海岸から30km離れた洋上風力発電で活動が確認された（右図参照）。

【資料の概要】

- ・米国において、洋上風力発電の導入推進や環境アセスメントの実施にあたって、欧州での事後調査結果等から得られた現在の知見や、不明な点等を整理した²⁾。
- ・当該報告書のうち、海生哺乳類と漁業効果について、以下の通り整理されている。

【記載内容の概要】

- ・ドイツ国のAlpha Ventus洋上風力発電所では、発信機を付けたゼニガタアザラシが採餌のために洗掘防止工がある風力発電の基礎周辺で活動していることが確認された（右図参照）。

出典：

1) A REVIEW OF SOLUTIONS TO AVOID AND MITIGATE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF OFFSHORE WINDFARMS Capitalization report, Maria Defingou et al., 2019

2) Improving Efficiencies of National Environmental Policy Act Documentation for Offshore Wind Facilities Case Studies Report, BOEM, 2018

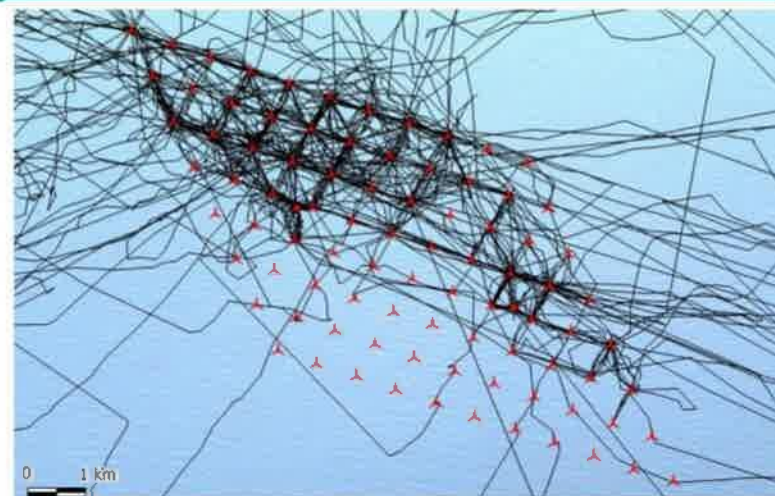


図 英国のSheringham Shoal洋上風力発電所におけるアザラシ類（ゼニガタアザラシ、ハイイロアザラシ）の行動

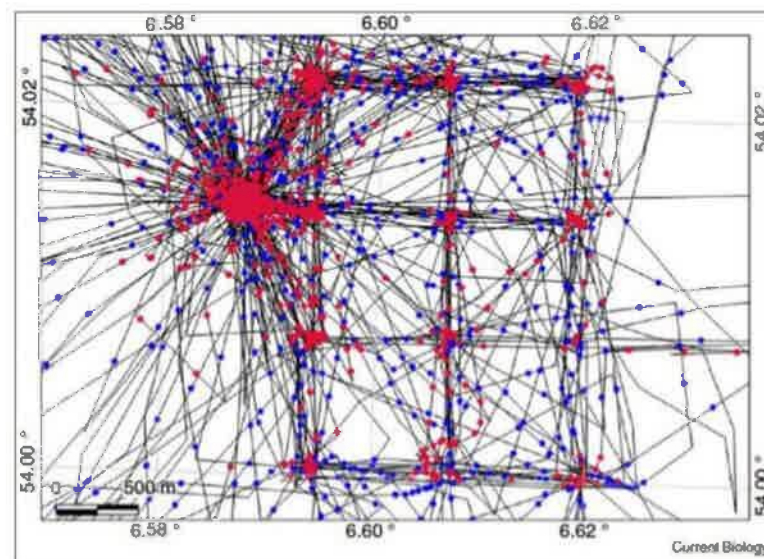


図 ドイツ国のAlpha Ventus洋上風力発電所におけるゼニガタアザラシの行動

2.5 海生哺乳類

海生哺乳類5 工事中・稼働後における海生哺乳類の事後調査結果

英国海洋管理機構（Marine Management Organization : MMO）は、沿岸で実施されたラウンド1,2の19の洋上風力発電事業を対象に、許認可条件に含まれた事後調査報告書のレビューを行った。今後の許認可において、事後調査を行うべき項目及び手法等を取りまとめた資料において、海生哺乳類の事後調査結果は下記の通りである。

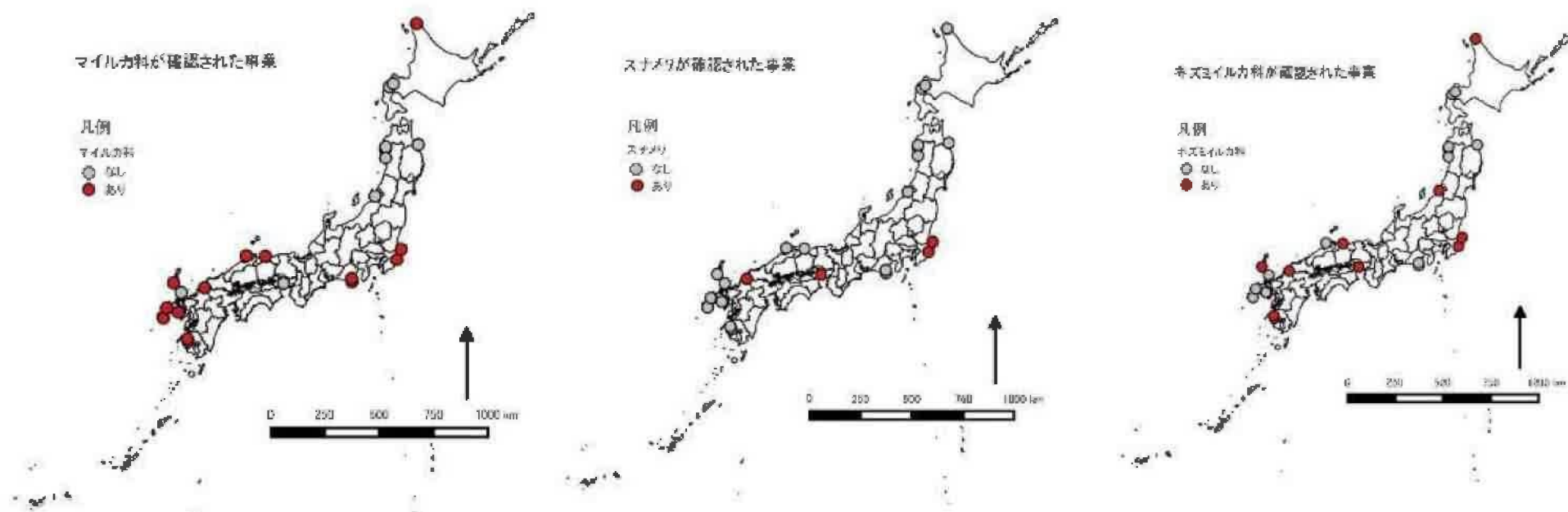
国名	事業名	対象種	事後調査結果
ベルギー	Thornton Bank	ネズミイルカ	工事に伴い周囲22kmで明らかに生息分布の変化が見られた（飛行機調査）。杭打作業後から数時間から数日後に生息が確認された（音声調査）。
デンマーク	Horns Rev I	ネズミイルカ	工事中、管理作業中、稼働後について、全体として生息数に大きな変化はなかった。杭打作業中には確認されず、杭打作業後の5,6時間後に、音声を確認され始めた（音声調査）。工事中の影響は局地的であった（船舶調査）。調査ごとに平均23回確認され、事業地内では合計3回しか確認されなかったため統計的に影響を把握できなかった（飛行機調査）（Tougaard et al., 2006）。
		ゼニガタアザラシ	事業計画地は採餌場の一部であった。洋上風力発電の影響を正確に把握するために調査を行ったが十分な結果が得られなかった（衛星写真及びロガー）。洋上風力発電所内で確認されたアザラシ類はその周辺でも確認されたが、工事中はほとんど確認されなかった（ネズミイルカを対象とした船舶調査）（Tougaard et al., 2006）。
	Horns Rev II	ネズミイルカ	作業後1時間以内は全く音声が確認されず、2.6kmの地点では平均72時間まで確認されなかった。イルカ類が戻ってくる時間は離れるほど短くなり、平均17.8kmまで影響があり、22kmではイルカ類の増加がみられた。4.7kmまでは杭打作業の間の時間より、戻ってくる時間が長くなるため事業区域全域で確認されなくなった（音声調査）（Brandt et al., 2011）。
	Nysted	ネズミイルカ	杭打作業の地点から15kmまでイルカ類の生息密度に一時的な影響を与えていた（Carstensen et al., 2006）。工事後に戻ってくるのはゆっくりで、稼働後4年たっても元の状態に戻っていない（音声調査）（Teilmann and Carstensen, 2012）。
		ゼニガタアザラシ及びハイロアザラシ	事業計画地は採餌場の一部であった（衛星追跡調査）。杭打作業中は、上陸して休息する個体数が減少した（上陸場のビデオ及び視認調査）（Edrén et al., 2010, Teilmann et al., 2006）。稼働後の2種のアザラシ類のトラック調査では、アザラシ類の行動に全く影響は見られなかった。これはRødsand 2洋上風力発電所でも同様であった。（McConnell et al., 2011）。
	Sprogø	ネズミイルカ	影響は確認されなかった（音声調査）（Tougaard and Carstensen, 2011）。
ドイツ	Alpha Ventus	ネズミイルカ	杭打作業地点から20kmまで忌避反応が見られた（杭打作業中の1回の航空機調査）。10.8kmまで杭打作業の影響がみられ、25km、50kmでは多く確認された（音声調査）（Dähne et al., 2013）。
オランダ	Eegmond aan Zee	ネズミイルカ	季節変動が大きい、全体として、稼働後は確認が多くなった。参照海域より洋上風力発電の海域の方が多く確認された。これは餌資源が多い、又は、船舶等が少ないといった理由が想定された（音声調査）。（Scheidat et al., 2011; 2012）。異常な座礁は見られなかった。座礁した個体は、杭打作業による聴覚の損傷を調べるのに適していなかった。（Leopold and Camphuysen, 2008）。
		ゼニガタアザラシ	上陸場は事業計画地から40km以上離れており、洋上風力発電の影響の把握に適していなかった。アザラシ類は一般的に交通量が多い航路を避けていた。アザラシ類は工事中は確認されなかったが、工事前後は洋上風力発電の方面まで生息域を広げていた（衛星追跡調査）（Brasseur et al., 2012）。
	Prinzess Amalia	ネズミイルカ	稼働後2年間、洋上風力発電所と参照海域で、音声の検出の違いは見られなかった（音声調査）。（van Polanen Petel et al., 2012）。

2.5 海生哺乳類

海生哺乳類6 海域における海生哺乳類の出現状況に関する調査、解析結果の例

【資料の概要】

平成24～27年度に実施した「風力発電等に係る環境アセスメント基礎情報整備モデル事業」において洋上風力発電所を想定した調査を実施したモデル地区（24か所）を対象に、海生哺乳類の調査結果から海域における鯨類の出現状況（科別出現頻度、出現間隔、探索距離、相対深度、日周性、滞在時間）を整理。



【記載内容の概要】

- 科別出現状況：一部の例外はあるものの、マイルカ科かネズミイルカ科のいずれかのみが確認される場合が多かった。
- ・マイルカ科の鯨類は、北海道から南九州にかけての太平洋及び日本海側の広い地域で、24事業のうち14事業地で確認された。ただし、東北地方での確認はなかった。
- ・ネズミイルカ科の鯨類についても、北海道から北九州にかけての太平洋及び日本海側の広い地域で、24事業のうち10事業地で確認された。このうち、スナメリについては、瀬戸内海や北九州市沖、利根川河口部付近で確認された。
- 出現間隔：集中して出現する期間と全く出現しない期間が交互に現れる弱い周期性が見られる場合もあるが、一般的な傾向としては確認できなかった。また、一部では夜間には沖合で多く確認されるという傾向が見られた場所もあった。
- 探索距離：探餌行動と関連が深い短距離の探索が、鯨類が確認された17事業中10事業で確認された。
- 相対深度：特定の深さで多く確認される場合と深さによる傾向が見られない場合とがあり、一般的な傾向は確認できなかった。繁殖期と非繁殖期の違いについても、傾向は確認できなかった。
- 日周性：日中に多くなる傾向、夜間に多くなる傾向、あるいは傾向が見られない場合などがあり、繁殖期/非繁殖期を通じて、一貫した傾向は確認されなかった。
- 滞在時間：一般的な傾向が見られなかった。

出典：洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会報告書 資料編, 平成29年3月

2.5 海生哺乳類

海生哺乳類7 海生哺乳類の現地調査手法の例

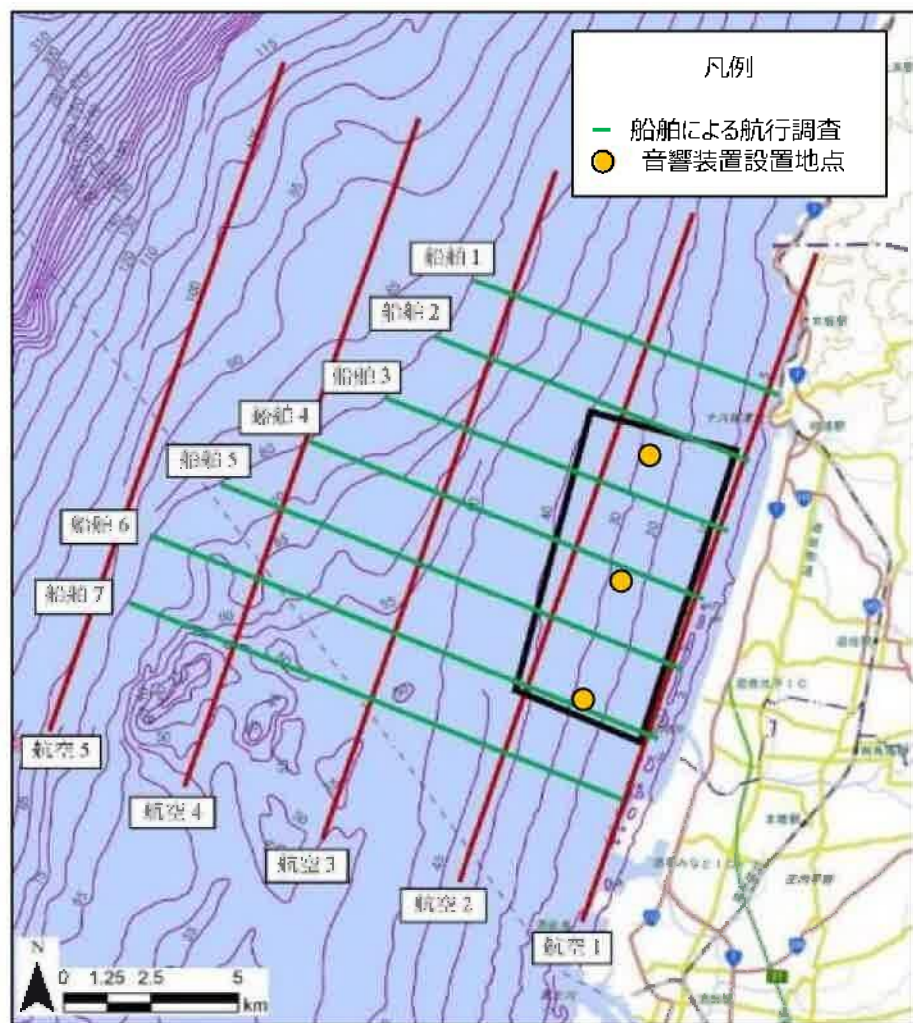


図 調査地点の設定例

出典：令和4年度洋上風力発電に係る環境影響評価のための環境調査（山形県遊佐町沖）調査計画書

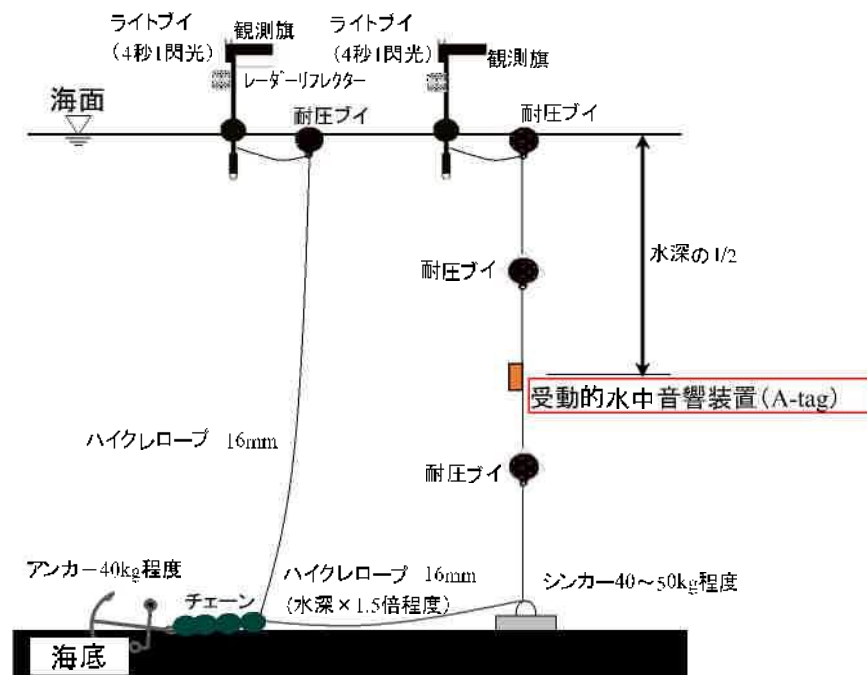
【調査手法の概要】

○船舶ラインセンサス調査

- ・ 生息分布・密度を把握するため、船舶を一定速度で航行させ、双眼鏡等を用いて海生哺乳類の種類、個体数等を記録する。
- ・ 調査時期・頻度等は、年間の季節的な変動を把握するため、4季/年を基本とする。
- ・ 調査日の違いによる調査結果の差が生じないように、全ての測線を同日に実施する。

○受動的な水中音響調査

- ・ 海生哺乳類が発する周波数帯の記録に特化した受動的な水中音響装置を15昼夜以上連続して海中に設置し、海生哺乳類の音声を記録する。
- ・ 受動的な水中音響装置の探知範囲が限定的であることから、水深等を考慮して事業実施区域全域を対象にバランス良く調査地点を複数設定する。
- ・ 季節的な変動を把握するため、4季/年（春・夏・秋・冬）とし、15昼夜以上/季の連続観測とする。



受動的な水中音響装置の設置イメージ

2.6 ウミガメ類

ウミガメ類1 ウミガメ類の可聴帯域

【資料の概要】

- ・明田は、国内外の事例をもとに、洋上風力発電機から生じる水中音が海洋生物に及ぼす影響を整理している。

【記載内容の概要】

- ・ウミガメ類の可聴帯域は1,000 Hz 以下の周波数領域である。
- ・ウミガメ類の感受性の高い周波数域である100–200 Hz の可聴閾値は110–120 dB 程度である。
- ・ウミガメ類は建設時に発生する1,000 Hz 以下の低周波騒音に対して、クジラ類より可聴閾値が高い。

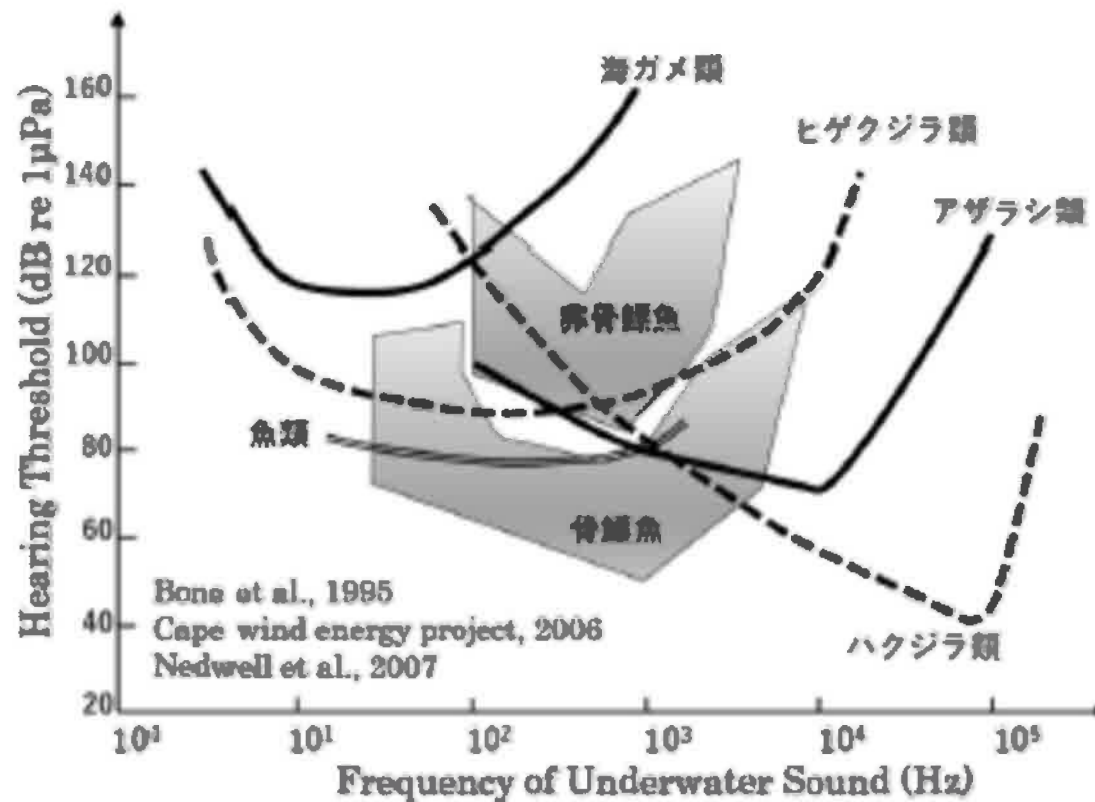


Fig. 4 Audiogram of marine organisms.

2.6 ウミガメ類

ウミガメ類2 ウミガメ類の産卵地に関する情報

【資料の概要】

- ・EADAS（環境アセスメントデータベース）において、ウミガメ類の産卵地に関する情報が整理されている。



出典：EADAS（環境アセスメントデータベース）

2.7 魚類

魚類1 工事中の水中音に関する魚類への影響

【資料の概要】

- ・ベルギー王立自然史博物館などの研究者が中心になって、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果が取りまとめられ、継続的に公表されている¹⁾。

【記載内容の概要】

- ・工事中の水中音によるタラ類の浮き袋の損傷を調べるため、杭打地点から75m、400m、1400m、1700mにタラ類9-12個体を入れたかごを置いて、影響を比較した結果、浮き袋の圧外傷の割合は、75mで90%、400mで40%、1400mで20%であり、1700mでは損傷無しであった（背景音は114-138dB re 1 μ Pa、杭打ちによる1回の水中音は400mで175dB re 1 μ Pa²s、1700mで168dB re 1 μ Pa²s）。

【資料の概要】

オランダ国公共事業局（Rijkswaterstaat）は、オスパー条約締約国の範囲を対象に、洋上風力発電に伴う環境影響に係る文献をもとに2019年現在の知見を整理した²⁾。

当該報告書のうち、工事中の水中音に関する魚類への影響については、下記の通り記載されている。

【記載内容の概要】

- ・一般的に、浮き袋を持つ魚類の方が水中音の影響を受けやすい。
- ・杭打作業による魚類の死亡の研究は少なく、杭打作業の100m以内といった、ごく近傍の個体に影響が生じると考えられる。
- ・杭打作業に伴う魚類への影響は杭打作業の近傍に限られるため影響が小さいという研究があるが、個体数への影響は知られていない。
- ・英国においては、杭打作業によるニシンの産卵場への影響が懸念されたため、杭打作業の時期を制限することとなっている。

出典：

1) Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, Robin Brabant et.al., 2017

2) 2019 Update on the Current state of Knowledge on the Environmental Impacts of Offshore Wind Farms, Reinier Zoutenbier et.al., 2019

2.7 魚類

魚類2 工事中の水中音に関する魚類のガイドライン値の例

【資料の概要】

- ・スウェーデンの環境保全庁が取りまとめた水中音に関する資料では、欧州における杭打作業に伴う水中音による海生生物への影響やガイドライン値等を整理している。

【記載内容の概要】

- ・魚種によって水中音への反応が異なるため、魚類を対象としたガイドライン値は提案されていない。
- ・行動変化が見られた水中音レベルは、タラでは、SPL(peak) 140から160dB re 1 μ Pa、スプラット（ニシン科）ではSPL_(peak) 163dB re 1 μ Pa、SEL_(ss) 135dB re 1 μ Pa²sであった。
- ・水槽実験で得られた魚類、魚卵・稚仔魚の死亡又は内部組織の損傷に関するガイドライン値が整理されている。

表 水槽実験で得られた魚類、魚卵・稚仔魚に関するガイドライン値（杭打ち時）

	魚類	魚卵・稚仔魚
死亡又は内部組織の損傷	SPL _(peak) 207dB re 1 μ Pa SEL _(ss) 174dB re 1 μ Pa ² s SEL _(cum) 204dB re 1 μ Pa ² s	SPL _(peak) 217dB re 1 μ Pa SEL _(ss) 187dB re 1 μ Pa ² s SEL _(cum) 207dB re 1 μ Pa ² s

注

SPL_(peak) : 最大値

SEL_(ss) 1 : 1回の杭打作業での水中音レベル

SEL_(cum) : 一定の時間における累積の水中音レベル

出典 : A framework for regulating underwater noise during pile driving SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2017

2.7 魚類

魚類3 稼働後の魚類（欧州における事後調査結果）

【資料の概要】

- ・ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。
- ・オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所（3MW×36基、離岸距離10km）において、魚類のモニタリング結果が取りまとめられている。
- ・デンマーク国Horns Rev及びNysted洋上風力発電所において、海生生物のモニタリング結果が取りまとめられている。
- ・北東大西洋の海洋環境保護を目的としたオスパール条約加盟国の海域における洋上風力発電の導入に伴う環境影響に係る知見が取りまとめられている。

【記載内容の概要】

- ・ベルギー国内の洋上風力発電による環境影響モニタリングの結果を取りまとめた資料¹では、工事前2002年、工事中2004年、2005年、稼働後2006年において、参照地点よりも洋上風力発電所内の方が魚類の種数が多く悪影響は与えていない。
- ・オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所における魚類への影響を取りまとめた報告書²によると、工事前、稼働後1年間、稼働後5年間の3時期を対象に、参照地点も含めて調査を行った結果、魚類相や個体の大きさ等の違いは見られなかったことが記載されている。
- ・オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所における魚類への影響を取りまとめた報告書²によると、モノパイル及び洗掘防止工周辺で刺し網による魚類採集を行い、魚類相を確認したところ、マダラ（cod）が確認された。また、マダラとsole（底生魚の一種）にタグをつけて、洋上風力発電所内での移動等を確認したが、モノパイル等の新しい生息基盤への蟄集や回避等の行動変化は確認されなかった。
- ・デンマーク国Horns Rev及びNysted洋上風力発電所でのモニタリング結果を整理した資料³によると、Horns Rev洋上風力発電所について、2003年運開後の7年間にわたって対照地点を設置して調査を行ったが魚類相の影響は確認されなかった。多くの魚類が蟄集し風力発電所内の方が外より個体数が多くなっており、漁業操業の停止が魚類の保全地区の機能を付与している。
- ・洋上風力発電所の環境影響についてオスパール条約委員会が取りまとめた報告書⁴によると、様々な文献で魚類が蟄集するとの結果があるが、局地的に種の分布が変わっただけで生態的には重要でないと考えられること、また、英国North Hoyle洋上風力発電所では、工事中及び稼働1年後に魚類の蟄集は見られなかったことが記載されている。

出典：

¹ Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, Robin Brabantら, 2017

² Monitoring and Evaluation Program Near Shore Windfarm Fish community, Noordzeewind, 2012

³ Danish offshore wind, Key Environmental Issues – a Follow-up, DONG Energy他, 2006

⁴ Assessment of the environmental impact of offshore wind-farms, OSPAR Commission, 2008

2.7 魚類

魚類4 稼働前後の魚類（欧州における事後調査結果）

【資料の概要】

ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。

【記載内容の概要】

ベルギー国の2つの洋上風力発電を対象に、洋上風力発電所内と参照地点で、魚類及び底生生物の種数、個体密度を比較したところ、設置前後において、洋上風力発電所内と参照地点に大きな違いはなく、影響は確認されなかった。

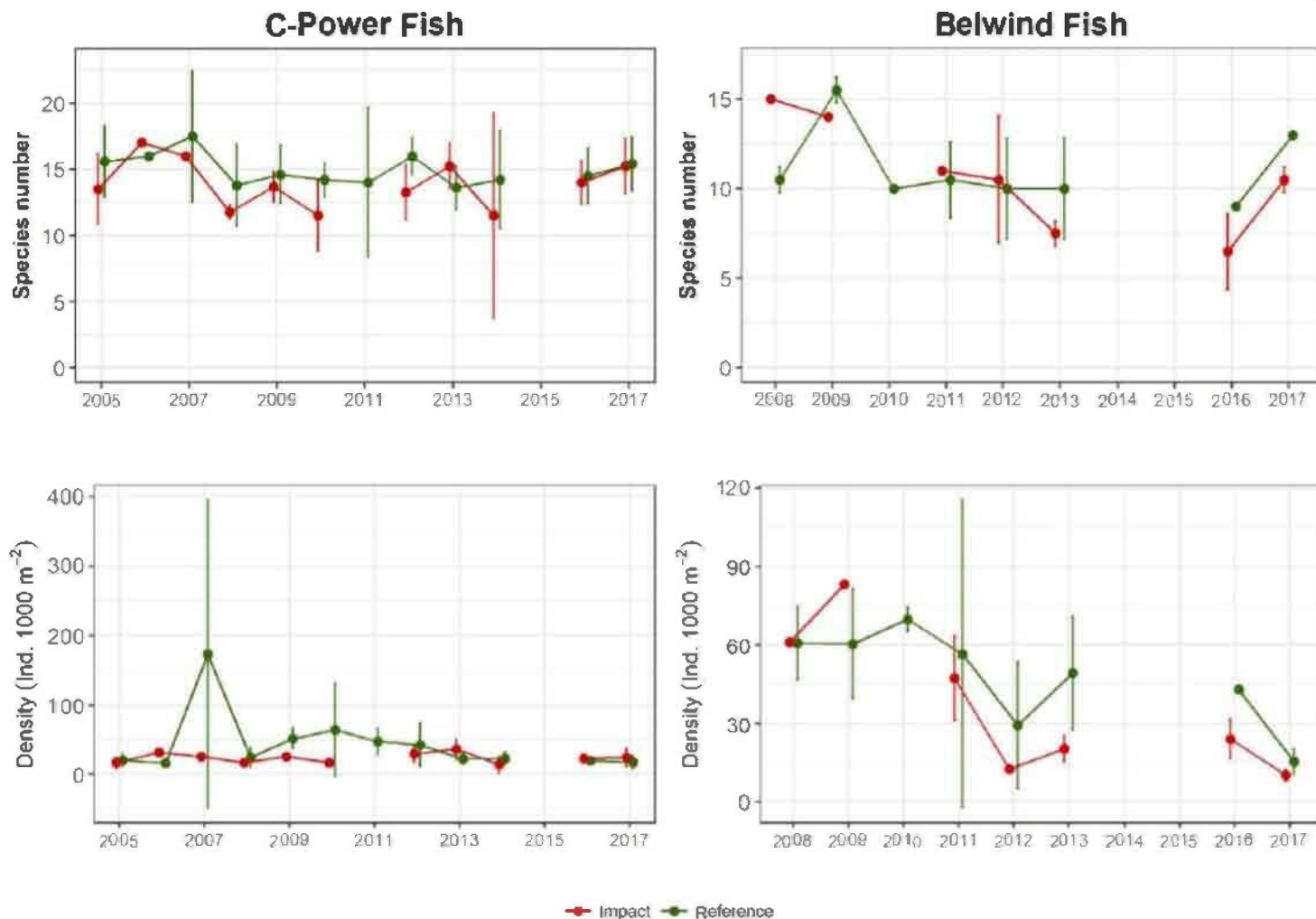
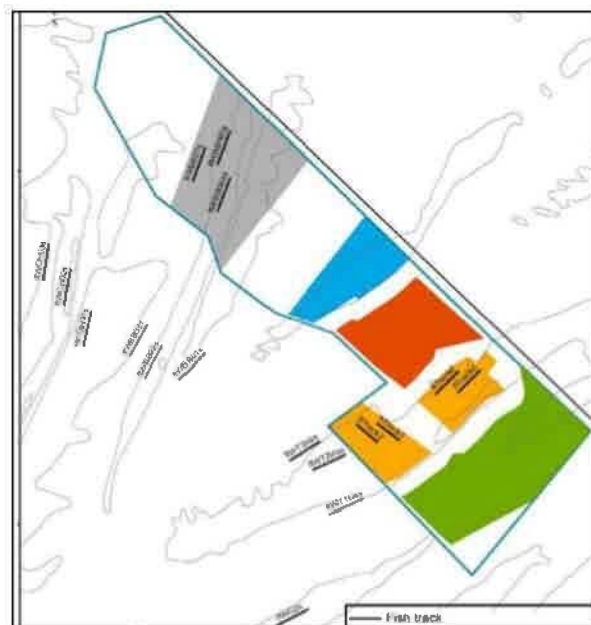


図 洋上風力発電所内（赤）及び参照地点（緑）における魚類の種数及び生息密度
注）C-Power洋上風力発電所は2011年に、Belwind洋上風力発電所は2009-2010年に工事を実施

出典：Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, Robin Brabant, 2018

2.7 魚類

魚類5 稼働後の底生魚類（欧州における事後調査結果）

【資料の概要】

- ・ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。
- ・オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所（3MW×36基、離岸距離10km）において、魚類のモニタリング結果が取りまとめられている。
- ・デンマーク国Horns Rev及びNysted洋上風力発電所において、海生生物のモニタリング結果が取りまとめられている。

【記載内容の概要】

- ・ベルギー国内の洋上風力発電に伴う環境影響モニタリングの結果を取りまとめた資料¹によると、2005年から2016年のモニタリングで分かったこととして、①風力発電設備の間（最大200m）の砂泥地の魚類相及び底生魚類相は稼働の6年後も大きな変化はない、②洋上風力発電所内の魚類相の変化は、より大きなスケールで見ると一時的なものである、③付着生物の密度やバイオマス量が増加して、捕食性の種も増加する現象は建設後2年間であり一時的なものである、④漁業停止により、トロール漁の影響を受けやすい長寿命で移動性の低い種が多くなると考えられるが、砂泥の魚類及び底生魚類への漁業停止による影響は見られなかった、ことなどが記載されている。
- ・オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所における魚類への影響を取りまとめた報告書²によると、工事前、稼働後1年間、稼働後5年間の3時期を対象に、参照地点も含めて、トロール漁で採取した魚類やその胃内容物等を比較したが、風力発電設備による新しい生息基盤の出現に伴う魚類相や胃内容物の変化は確認されなかった。
- ・デンマーク国Horns Rev及びNysted洋上風力発電所でのモニタリング結果を整理した資料³では、底質の組成と密接に関係するイカナゴ類の分布や種組成を調べたところ、洋上風力発電所内外での生息分布や種組成の違いはみられなかったことを報告している。

出典：

¹ Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, Robin Brabantら, 2017

² Monitoring and Evaluation Program Near Shore Windfarm Fish community, Noordzeewind, 2012

³ Danish Offshore Wind, – Key Environmental Issues, DONG Energy他, 2006

2.7 魚類

魚類6 魚類の現地調査手法の例

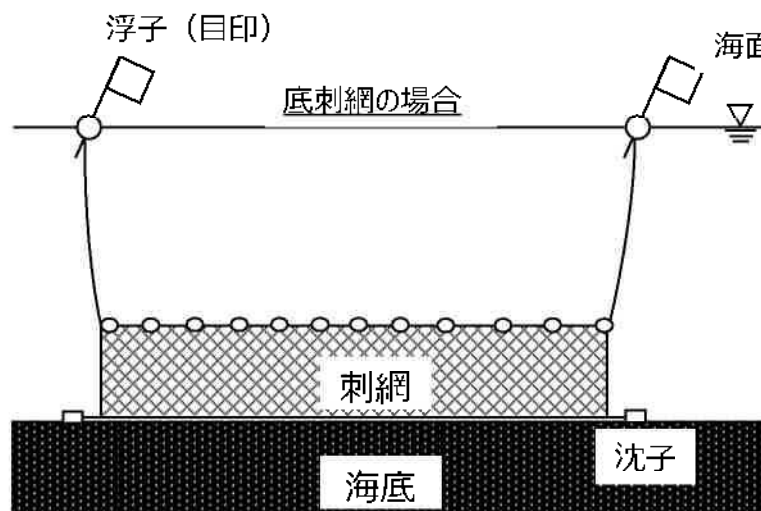
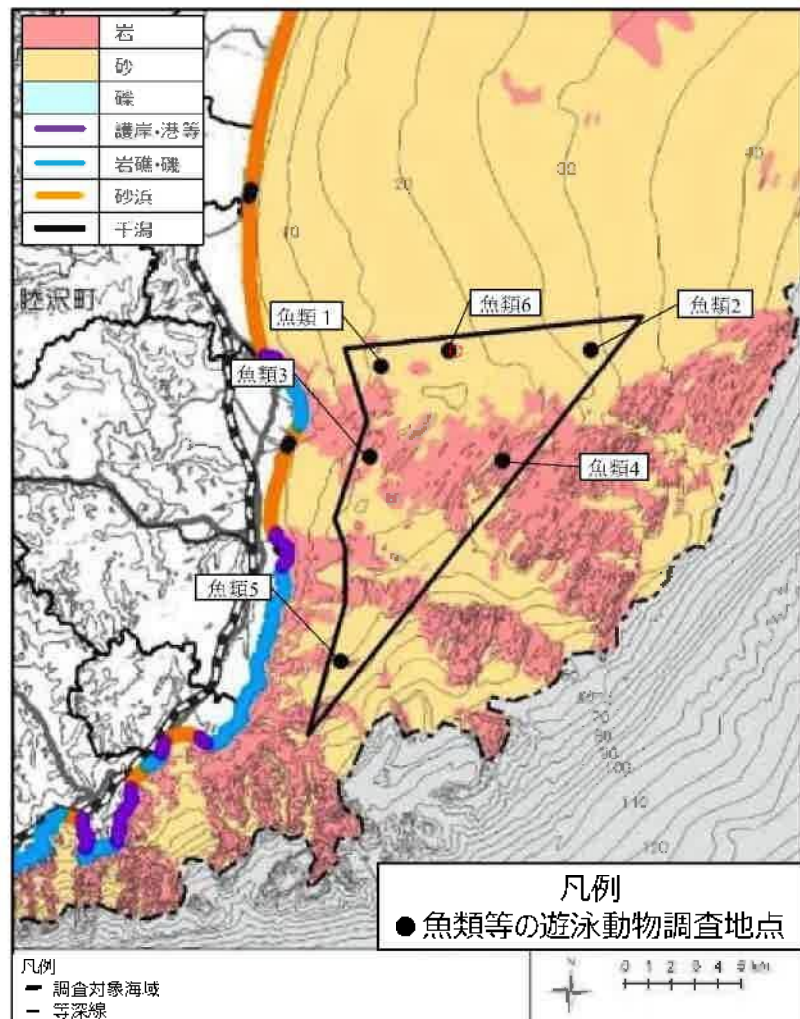
【調査手法の概要】

A. 捕獲調査

- ・捕獲した魚等の遊泳動物は種の同定、個体数、湿重量及び体長の計測を行う。
- ・漁具での調査の場合は、網の目合いは特定の魚等の遊泳動物種のみが捕獲されないよう配慮する。
- ・事業実施区域及びその周囲に生息する魚等の遊泳動物相を可能な限り把握するよう、水深、底質等の違いを考慮して調査地点を設定する。
- ・河川の流入がある場合は、河口地先の海域に調査地点を設定する。海底地形や人工礁や天然礁が存在する場合は、それらを考慮して調査地点を設定する。
- ・4季／年（春、夏、秋、冬）を基本とするが、事業実施区域において保全すべき重要な種等の遊泳動物の生息が想定される場合は、当該種の生息時期を考慮して設定する。

B. ヒアリング等調査

- ・魚等の遊泳動物相の種類や量、季節的变化を把握するため、漁業関係者へのヒアリングを行う。
- ・市場関係者の協力を得られる場合は、水揚げされた魚種を記録する。



2.8 底生生物

底生生物1 稼働後の底生生物（欧州における事後調査結果）（1/2）

【資料の概要】

- ・ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。
- ・デンマーク国Horns Rev及びNysted洋上風力発電所において、海生生物のモニタリング結果が取りまとめられている。
- ・英国North Hoyle洋上風力発電所において、稼働1年後の海生生物のモニタリング結果が取りまとめられている。
- ・オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所（3MW×36基、離岸距離10km）において、底生生物のモニタリング結果が取りまとめられている。

【記載内容の概要】

- ・ベルギー国Thornton Bank洋上風力発電所の稼働直後の底生生物の調査を行った資料¹によると、3.5か月後には55種が確認されたが、一方で暖かい海に生息する種も確認され、飛び石的に、特定の種の分布拡大を助長する可能性がある。
- ・デンマーク国Horns Rev及びNysted洋上風力発電所でのモニタリング結果を整理した資料²では、新しくできた生息基盤で底生生物を捕獲、写真撮影、ビデオ撮影によって調べた結果、底生生物量は風力発電施設設置後に50-150倍に増加し、これらは魚類や鳥類の餌になることが記載されている。
- ・英国North Hoyle洋上風力発電所の稼働1年後のモニタリング結果を整理した資料³によると、底生生物相及び底質の粒径分布の変化は見られなかった。
- ・オランダ国Egmond aan Zee洋上風力発電所においてマクロベントスへの影響を整理した資料⁴によると、事業実施前の2003年、漁業制限を行って1年後の2007年、5年後の2011年の3時期について、ボックスコアサンプリングで採取した生物量や種組成等の違いを、Shannonn - Wiener指数やSimpson指数等を用いて比較した。洋上風力発電所建設前後を比較した結果、種組成の違いはほとんど見られず、また、参照地点と比較しても違いが見られなかった。大きな違いが生じなかった理由としては、調査地点間の幼生の生息数に違いがなく、底引き網漁による影響から回復するには5年間では短い可能性がある。

出典：

¹ Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, State of the art after two years of environmental monitoring, Robin Brabant⁵, 2009

² Danish Offshore Wind, – Key Environmental Issues, DONG Energy他, 2006

³ Annual FEPA Monitoring Report (2004-5), North Hoyle Offshore Wind Farm, February 2006

⁴ Impact of OWEZ wind farm on the local macrobenthos community, NoordzeeWind, 2012

2.8 底生生物

底生生物1 稼働後の底生生物（欧州における事後調査結果）（2/2）

国	洋上風力発電所	資料採取状況 (1)	BACI手法の有無	採取方法	メッシュサイズ (mm)	サンプルサイズ (m ²)	参照地点数	参照地点でのサンプル数	調査対象とした風力発電機数	風力発電所内のサンプル数	工事実施前の年数	工事終了後の年数	稼働後の年数	風力発電機間の距離 (最小)	多様性/種の豊富さ (2)	バイオマス量 (2)	生息密度 (2)	種の大ささ (2)
ベルギー	Belwin d	EP	y	shrimp	22	nb	3	2-16	-	2-8	1	4	2	200	↑			
		IN	y	vVeen	1	0.1	3	15-18	-	6-16	1	3	1	nb	↑	↑	↑	
		HS	-	scrape	1	0.083	0		3			2	2	-	↑	↑	↑	
	Thornton Bank	EP	y	shrimp	22	nb	3	2-13	-	2-10	3	4	4	200	↑	↑		
		IN	y	vVeen	1	0.1	4	4-25	-	2-19	3	2	2	nb	↑			
		IN (Clf (3))	-	vVeen	1	0.025	4	-	1		-	4	4	15	↑	↑		
デンマーク	Rev 1	IN	y	HAPS	1	0.0123	1	5-40	6	5-19	2	3	3	5	↑			
		HS (SP (4))	-	scrape	1	0.04	1	nb	6	18	-	3	3	-				
	Horns 1	HS (SP (5))	-	scrape	1	0.04		-	6	60	-	3	3	-	↑			
英国	Scroy Sands	EP	n	vVeen & hammon	nb	nb	0	0	-	38	1	1	1	nb				
		IN	n	beam trawl	nb	nb	0	0	-	7	1	1	1	nb				
	Kentish Flats 1			beam trawl	nb	1000-2000	4	1-2	-	3	1	3	2	nb				
		EP	y		nb	0.1	4	2-4	-	8	1	3	2	nb				
		IN	y	hammon	nb	0.01	-	-	2	4	-	3	3	-				
		HS	-	scrape	nb													
ドイツ	Alpha Ventus (N+Z)	EP	y	beam trawl	10	nb	1	10	1	10	2	2	1	nb	↓	↓		
		IN	y	vVeen	?	0.1	1	20	-	20	2	2	1	nb				
		HS	-	scrape	1	0.04	0	-	2	3	?	?	?	-				
オランダ	PAWP	EP	n	shrimp	-	-	0	0	-	4	0	1	4	150				
		IN	y	dredge	6	100	2	9	-	15	1	2	5	150				
		IN	y	box corer	1	0.067-0.078	2	25	-	47	1	2	5	150				
		HS	-	scrape	0.25	0.056	-	-	4	48	-	2	6	-	↑	↑		
	OWEZ	EP	-	shrimp	-	-	3	nb	-	nb	0	1	5	nb				
		EP	y	dredge	6	16-100	6	2-6	-	14-25	1	2	4	150	↑			↑
		IN	y	Box corer	1	0.067-0.078	6	8-25	-	16-66	1	2	4	150	↑			↑
		HS	-	scrape	0.25	0.056	-	-	3	36	-	2	4	-	↑	↑	↑	

【資料の概要】

・オランダ国公共事業局 (Rijkswaterstaat) は、大規模洋上風力発電所の導入による底生生物への影響を把握するため、北海で行われた各国の底生生物に関するモニタリング結果を取りまとめている。

【記載内容の概要】

- ・風力発電機の基礎や洗掘防止工においては、工事終了後に付着生物が確認され、徐々に種数、生息密度、バイオマス量が増加した。
- ・洋上風力発電所内において、風力発電機の基礎や洗掘防止工が存在しない、やわらかい底質 (soft sediment) においては、底生生物に大きな変化は見られなかった。
- ・新しい基盤の存在による底生生物の変化が確認された場合であっても、一時的であったり、複数の指標での変化のみであった。

注：

- (1) EP：表在性生物、IN：埋在性生物、HS：硬質基質
 (2) ↑：風力発電所内で増加、↓：風力発電所内で減少
 (3) 基礎周辺で試料採取を実施
 (4) 洗掘防止工における付着生物
 (5) モノパイルにおける付着生物

出典：

Macrobenthos in offshore wind farms A review of research, results and relevance for future developments, Robbert Jak and Sander Glorius, 2017

2.8 底生生物

底生生物2 底生生物の現地調査手法の例

【底生生物（マクロベントス）】

- ・ 採泥器を用いて一定面積の海底表層砂泥を1地点当たり3回程度採取し、採取した底泥を1mm目のフルイわけし、フルイ上に残った底生生物を試料とし、種の同定、個体数及び湿重量の計測を行う。
- ・ 調査地点は、水深、海底の底質、流入河川の位置、魚礁等の構造物の存在などを考慮し、事業実施区域及びその周囲における底生生物の生息環境を網羅するよう設定する。
- ・ 調査時期・頻度は、4季／年（春、夏、秋、冬）を基本とする。事業実施区域に保全すべき底生生物の生息が想定される場合は当該種の生息時期を考慮して設定する。

【底生生物（メガロベントス）】

- ・ 潜水土による目視観察あるいは水中ビデオカメラにより、調査地点の周辺（10m×10m程度を基本とする）におけるメガロベントスの種、個体数の記録を行う。
- ・ 調査地点は、水深、海底の底質、流入河川の位置、魚礁等の構造物の存在などを考慮し、事業実施区域及びその周囲における底生生物の生息環境を網羅するよう設定する。
- ・ 調査時期・頻度は、4季／年（春、夏、秋、冬）を基本とする。事業実施区域に保全すべき底生生物の生息が想定される場合は当該種の生息時期を考慮して設定する。

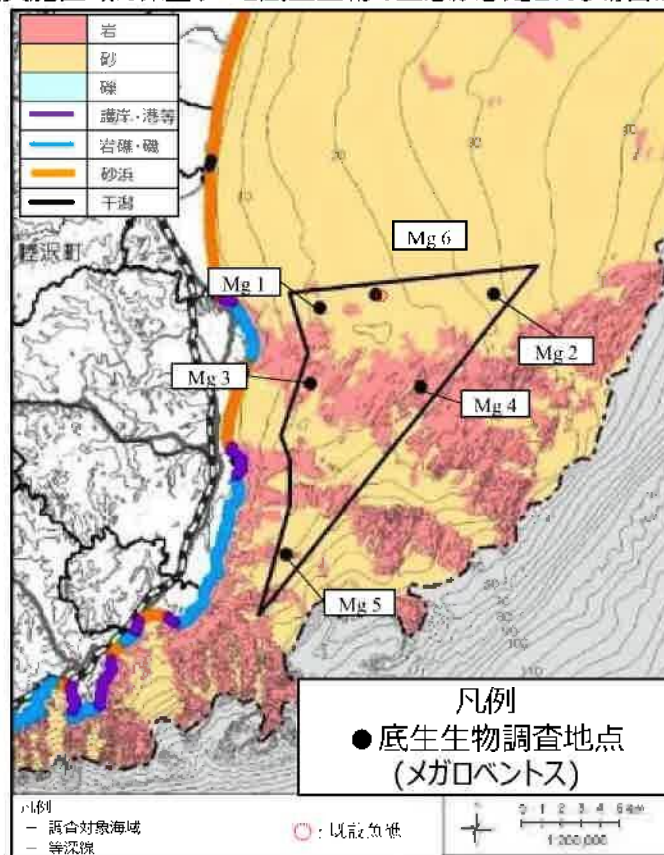
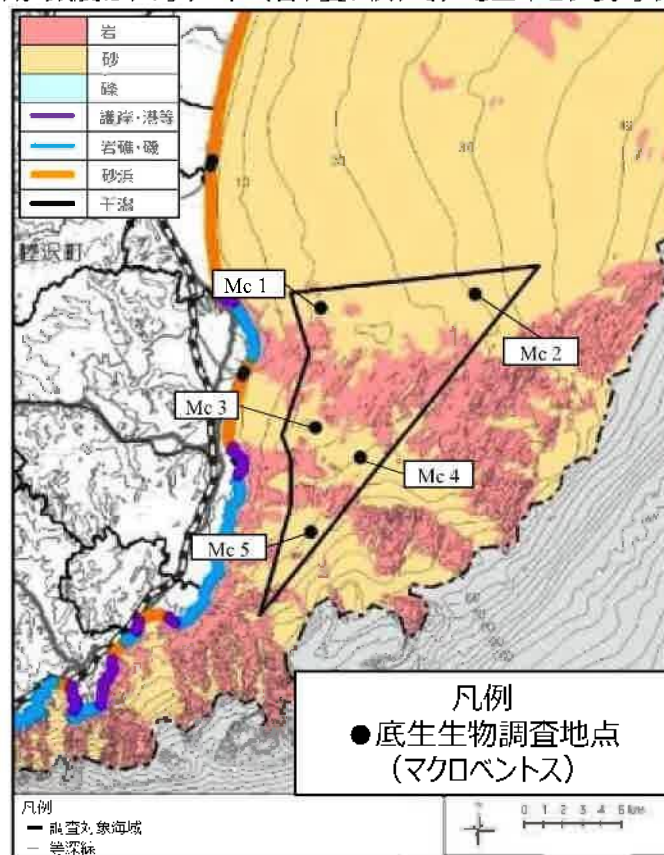
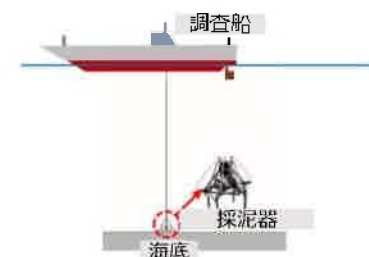


図 調査地点の設定例



採泥器による試料採取のイメージ



潜水土による目視観察イメージ

2.9 藻場・干潟・サンゴ礁

藻場1 藻場分布に関する情報

【資料の概要】

- 環境省では、藻場の分布状況や消滅状況を調査し、その結果を公開している。
- EADASでは、2018~2020年度に行った調査結果等を公開している。



北海道サロマ湖



青森県むつ湾



北海道宗谷岬



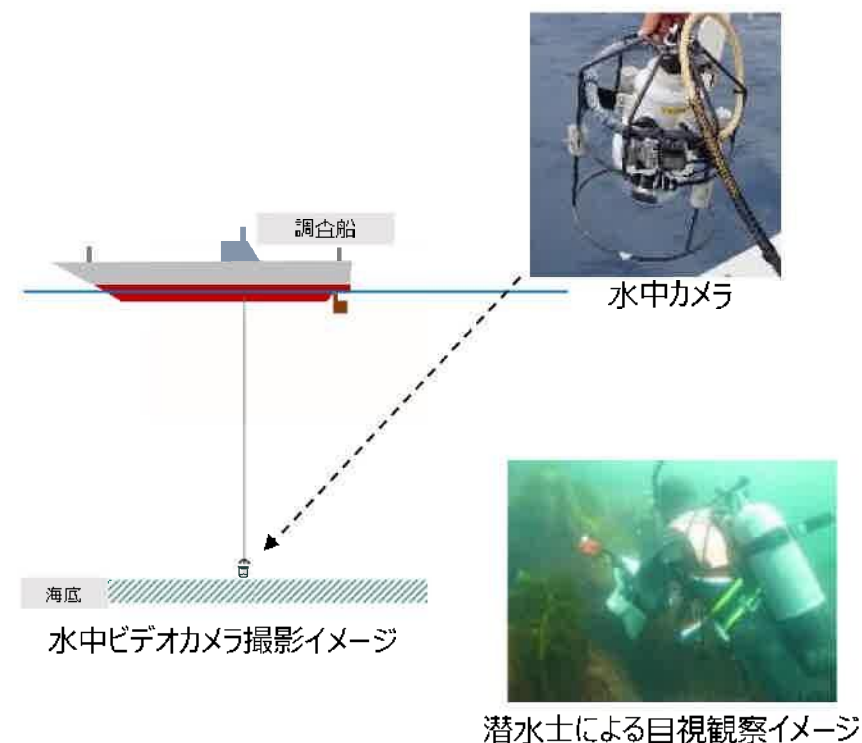
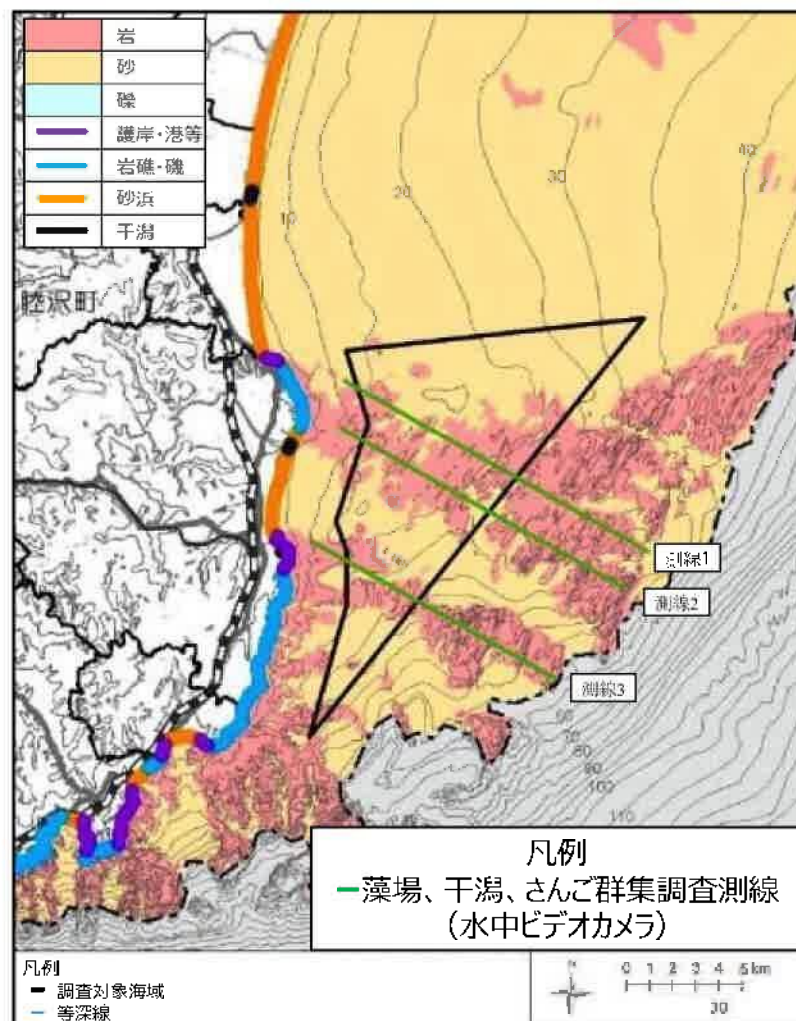
静岡県伊豆半島南端

2.9 藻場・干潟・サンゴ礁

藻場2 藻場の現地調査手法の例

【調査手法の概要】

- ・潜水士による目視観察あるいは水中ビデオカメラにより、地点周辺における海藻草類の種、被度、分布範囲等の記録を行う。
- ・調査時期・頻度は、海藻類が繁茂する時期を対象に行う。



2.9 藻場・干潟・サンゴ礁

干潟の分布に関する情報

【資料の概要】

- ・ 環境省では、干潟の分布状況や消滅状況を調査し、その結果を公開している。
- ・ EADASにおいては、第4回、第5回自然環境保全基礎調査で確認された分布を整理している。



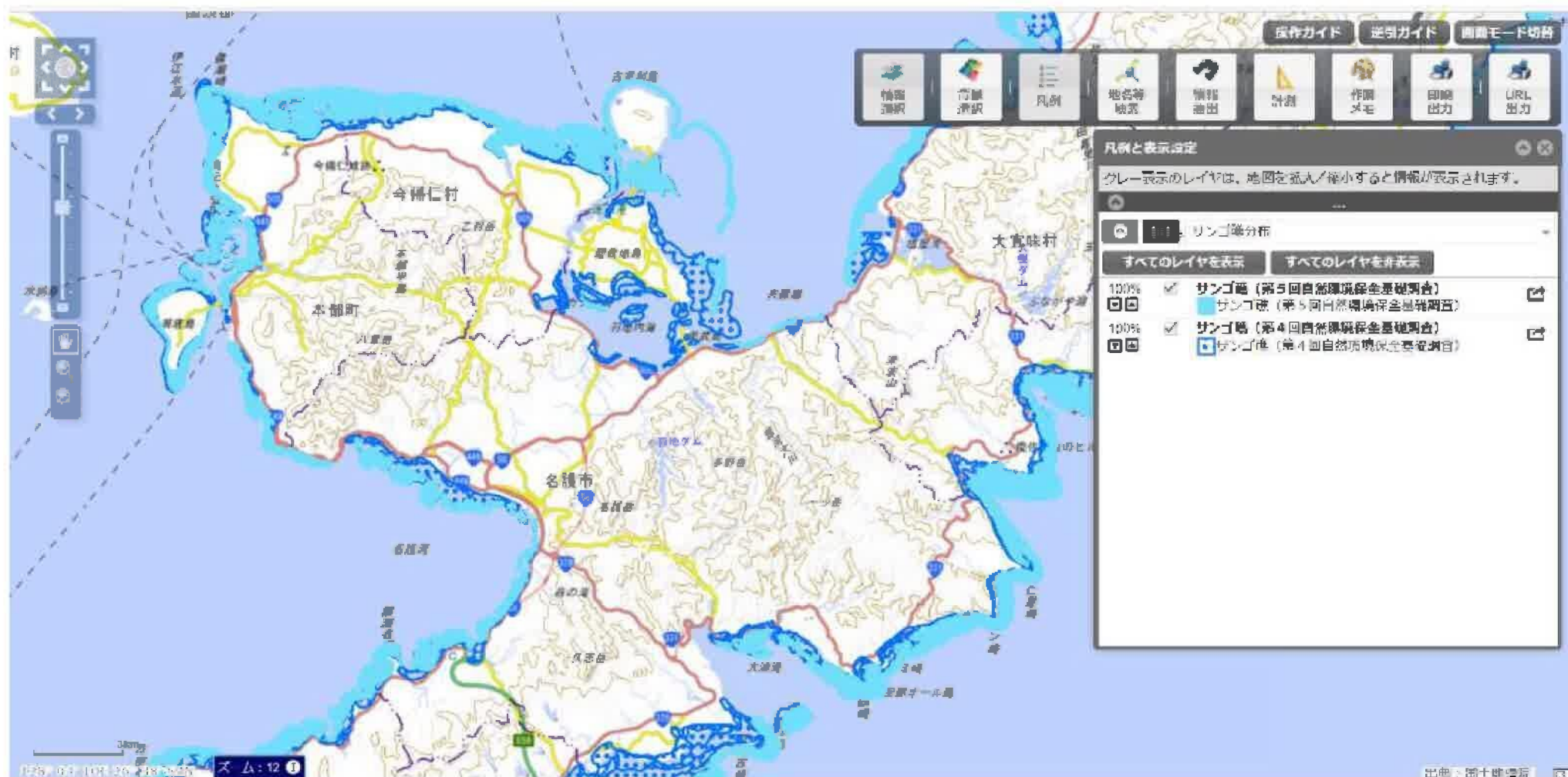
出典：EADAS（環境アセスメントデータベース）

2.9 藻場・干潟・サンゴ礁

サンゴ礁の分布

【資料の概要】

- ・ 環境省では、サンゴ礁の分布状況や消滅状況を調査し、その結果を公開している。
- ・ EADASにおいては、第4回、第5回自然環境保全基礎調査で確認された分布を整理している。



出典：EADAS（環境アセスメントデータベース）

2.10 景観

景観1 景観に関する欧州における予測評価の事例

【資料の概要】

英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）は、海域での再エネ事業の戦略アセスメントでの検討にあたって、洋上風力発電の景観の影響について文献レビューを行い、整理を行っている。

【記載内容の概要】

本資料では景観の予測にあたっては、フォトモンタージュに加えて、Wirelineシナリオ（右図）を示すことで、景観の影響を適切に把握できる。

Figure 3.3 Rampion wind farm- Comparative photomontage extracts from Cuckmere Haven Figure 8.1 Wireline Sample 1- 350m high wind turbines at 13km viewed at 22m AOD



Top image: Option F with 175 3.6MW turbines. Bottom image: Option D with 100 7MW turbines

Source: Rampion Offshore wind farm: Additional visualisations of the array to include structures exclusion zone, E.On, 2013

図 フォトモンタージュによる予測の事例

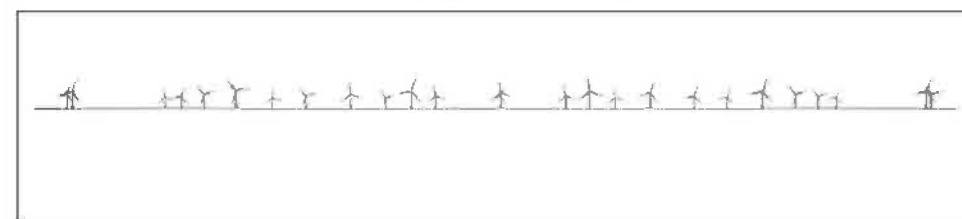


Figure 8.2 Wireline Sample 2- 400m wind turbines at 44km viewed at 22m AOD

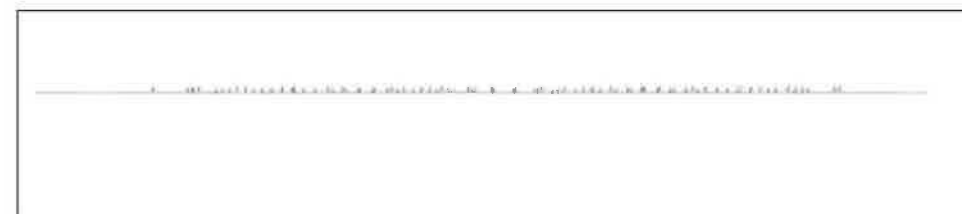


図 Wirelineによる予測の事例

2.10 景観

景観2 景観の現地調査方法の例

調査地点	3. 十六羅漢岩	
緯度経度	北緯：39°4'23" 東経：139°52'6"	
眺望点周辺の状況及び撮影方向	・十六羅漢岩近傍の東屋から眺望景観写真撮影した。 ・周辺には十六羅漢が彫刻された名勝十六羅漢岩が存在する。 ・調査地点から南西方向に撮影を行った。	
	 	 
眺望景観 (パノラマ、夏季)		
眺望景観 (パノラマ、落葉季)		

【調査手法の概要】

- ・現地の眺望点の状況及び眺望景観について目視確認を実施するとともに、フォトモンタージュ用の写真を撮影する。
- ・眺望点からの景観と調査地域との関係を把握しやすいようにパノラマ撮影をあわせて行う。
- ・写真撮影の他、眺望特性、眺望対象、眺望範囲、視点場の状況、景観構成、視認性について把握する。
- ・眺望点の周囲に樹林等があり、眺望がさえぎられる場合などにあつては、季節によって眺望範囲が異なることに留意して適切な時期に調査を行う。
- ・調査地点・範囲の選定にあつては、海岸線に位置する海水浴場など、眺望する場所によって眺望範囲が異なる場合にあつては、事業による影響が大きくなると想定される地点を含むようにする。

出典：令和4年度 洋上風力発電に係る環境影響評価のための環境調査（山形県遊佐町沖） 報告書

2.11 水中音

水中音1 工事中の水中音（ベルギー国における測定結果の例）

【資料の概要】

- ・ベルギー王立自然史博物館などの研究者は、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果を取りまとめ、継続的に公表している。

【記載内容の概要】

- ・ベルギー国内の洋上風力発電による環境影響モニタリングの結果を取りまとめた資料¹によると、ベルギーNobelwindにおいて杭打作業に伴う水中音を測定した結果は表に示す通りであり、水中音圧は190-203dBであった。
- ・ベルギー国内の洋上風力発電による環境影響モニタリングの結果を取りまとめた資料²によると、1400kJのエネルギーで杭打作業による水中音は189-196dB（750m換算）であり、バックグラウンドが100dBであるため、杭打作業の水中音がバックグラウンドまで低下する距離は70kmであると記載されている。

表 杭打作業による水中音圧レベル等（騒音源から750m）¹

杭打場所	水中音圧 (dB re1μPa)
BBH01	197
BBH03	198
BBH05	196
BBH06	190
BBH07	191
OHVS（変電所）	203

注(1)モノパイルの直径は5m、変電所のモノパイルの直径は6.8m

出典：

¹ Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, Robin Brabantら, 2017

² Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, Robin Brabantら, 2016

2.11 水中音

水中音2 工事中の水中音圧レベル（測定結果の例）

【資料の概要】

- ・明田は、国内外の事例をもとに、洋上風力発電の工事に伴う水中音圧レベル等を整理している。

【記載内容の概要】

- ・欧州における洋上風力発電の工事に伴う水中音の測定結果を取りまとめた資料によると、洋上風力発電所の杭打作業に伴う水中音のレベルは、1mの距離で聴覚器官に損傷を与え、死に至る音圧レベルとなる260–270 dB を超え、距離750 m でも魚類が忌避する180–200 dB となることが示されている。

表 様々な作業に伴う水中音圧レベル

地名 施設名	工種	音圧レベル (dB)		距離 (m)	測定深 (m)	杭直径 (m)	文献
		peak	SPL				
Kentish Flats	杭打作業	272		1		4.3	Nedwell <i>et al.</i> 2005
		196		213			Nedwell <i>et al.</i> 2007
North Hoya	杭打作業	260		1	5	4.0	Nedwell <i>et al.</i> 2003
		262		1	10		
	ケーブル設置	178		1			Nedwell <i>et al.</i> 2005
Scroby Sands	杭打作業	297		1		4.2	Nedwell <i>et al.</i> 2003
Kalmarsund	杭打作業	188		30			ODS 2000
Utrudsen	杭打作業	203		30			Krøst <i>et al.</i> 2003
Douglas 洋上風田	土木工事	225		1	10		Nedwell <i>et al.</i> 2005
		196		1	5		
(不明)	土木工事	200					Nedwell & Howell 2004
	音響エアガン	250		1			
Q7	杭打作業		178	57		4.0	De Jong and M.A. Ainslie 2008
			180	100			
			164	1850			
Nobelwind	杭打作業	190–198	166–174	750		5.0	Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, 2017
		203	178	750		6.8	
港湾工事	杭打作業	184	158	750		1.5	Elmer <i>et al.</i> 2006
Sky2000		185	164	750		3.0	
PINO1		189	164	750		1.5	
Amrum Bank		200	175	750		3.5	
OWEC		>205	>178	750		6.0	
Barrow		252		1		4.7	
Barbo Bank	杭打作業	217		92			Nedwell <i>et al.</i> 2007
		250		1		4.7	

2.11 水中音

水中音3 工事中の水中音に関する環境保全措置

【資料の概要】

- ・スウェーデンの環境保全庁は、欧州における杭打作業に伴う水中音による海生生物への影響やガイドライン値等を整理している。

【記載内容の概要】

- ・スウェーデンの環境保全庁が取りまとめた水中音に関する資料では、杭打作業に伴って発生する水中音に関する環境保全措置の低減効果がまとめられている。

表 水中音に関する環境保全措置及び低減効果 (dB)

環境保全措置	低減効果(dB)	実施数 (杭数)
ビックバブルカーテン(BBC) ($>0.3(\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{m})$ 、バラストチェーン含む、水深30m以浅)	$10 < 13 < 15$	$> 150(> 300)$
ダブルビックバブルカーテン(DBBC) ($>0.3(\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{m})$ 、バラストチェーン含む、水深30m以浅、ホース間距離は水深より大)	$14 < 17 < 18$	$> 150(> 300)$
スモールバブルカーテン(SBC) (エアボリューム使用、穴固定)	$(5 <) 10 < 14$	2
水中音吸収材ハイドロサウンドダンパー (HSD) (数及びサイズはHSDによる)	$8 < 10 < 13$	> 50
騒音低減スクリーン (IHC-NMS)	$10 < 13 < 15$	> 140
コファードム (締め切り・囲い堰)	締め切りに問題有 <10 締め切りに問題無 ≥ 20	$> 10(> 10)$
ビックバブルカーテンの併用	$15 < 16 < 19$	$> 30(> 70)$
IHC-NMSとビックバブルカーテンの併用	$17 < 19 < 23$	> 90
ビックバブルカーテンとHSDの併用	$15 < 16 < 20$	> 10
ダブルビックバブルカーテンとHSDの併用	$14 < 16 < 22$	2

2.11 水中音

水中音4 稼働時の水中音に関する国内における測定の実例

【資料の概要】

国内で測定された稼働時の水中音の結果を取りまとめた。

【結果の概要】

- ・銚子沖で行われているNEDO実証事業において、風車稼働時の水中音の測定が1週間×3地点で行われている。
- ・北海道瀬棚町及び茨城県神栖市にある風力発電機を対象に、水中音の測定が行われている。
- ・長崎県五島市にある浮体式洋上風力発電機を対象に、水中音の測定が行われている。

表 洋上風力施設の稼働時における水中音の測定事例

場所	調査手法	水中音圧 (re1μPa)	周波数
北海道瀬棚町 ³ (600kW×2基)	6地点（風力発電機ごとに基礎部、50m、200m）×24時間連続1日	109~140dB	強風時に10Hz以下の周波数帯が卓越→海流の攪乱によるものと推察
千葉県銚子沖 ¹ (2.4MW×1基)	3地点（風力発電機から70m、200m、2km）×7日間連続	100~110dB	20~100Hzの範囲で高調波(基本周波数28Hz)が発生
茨城県神栖市 ² (2MW、1号機対象)	1地点（風力発電機の基礎部）×1時間 (稼働中と停止中に測定)	—	30,50,145Hzが卓越。30Hzは発電機の定格速度、50Hzは東日本の交流電流周波数、140~150Hzは冷却ファンの回転速度と推定
長崎県五島市 ⁴ (2.4MW×1基 (浮体式))	3地点（風力発電機から100m、300m、1km）×10日間×3季	119~124dB	・稼働時に、31.5Hz帯（定格時）、20、25Hz帯（準定格時）を基音とする倍音構造の音が発生 ・稼働状況に関わらず、125Hz帯を基音とする倍音構造の音が発生

出典：

¹ 着床式洋上風力発電の環境影響評価手法に関する基礎資料（最終版）、平成30年3月、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

² 洋上風力発電施設からの水中放射音に関する研究、平成27年7月、塩莉ら（国土交通省海上技術安全研究所）

³ 洋上風力発電施設の水生環境調査～北海道瀬棚町を事例として～、平成15年7月、穴戸ら（（財）沿岸技術研究センター）

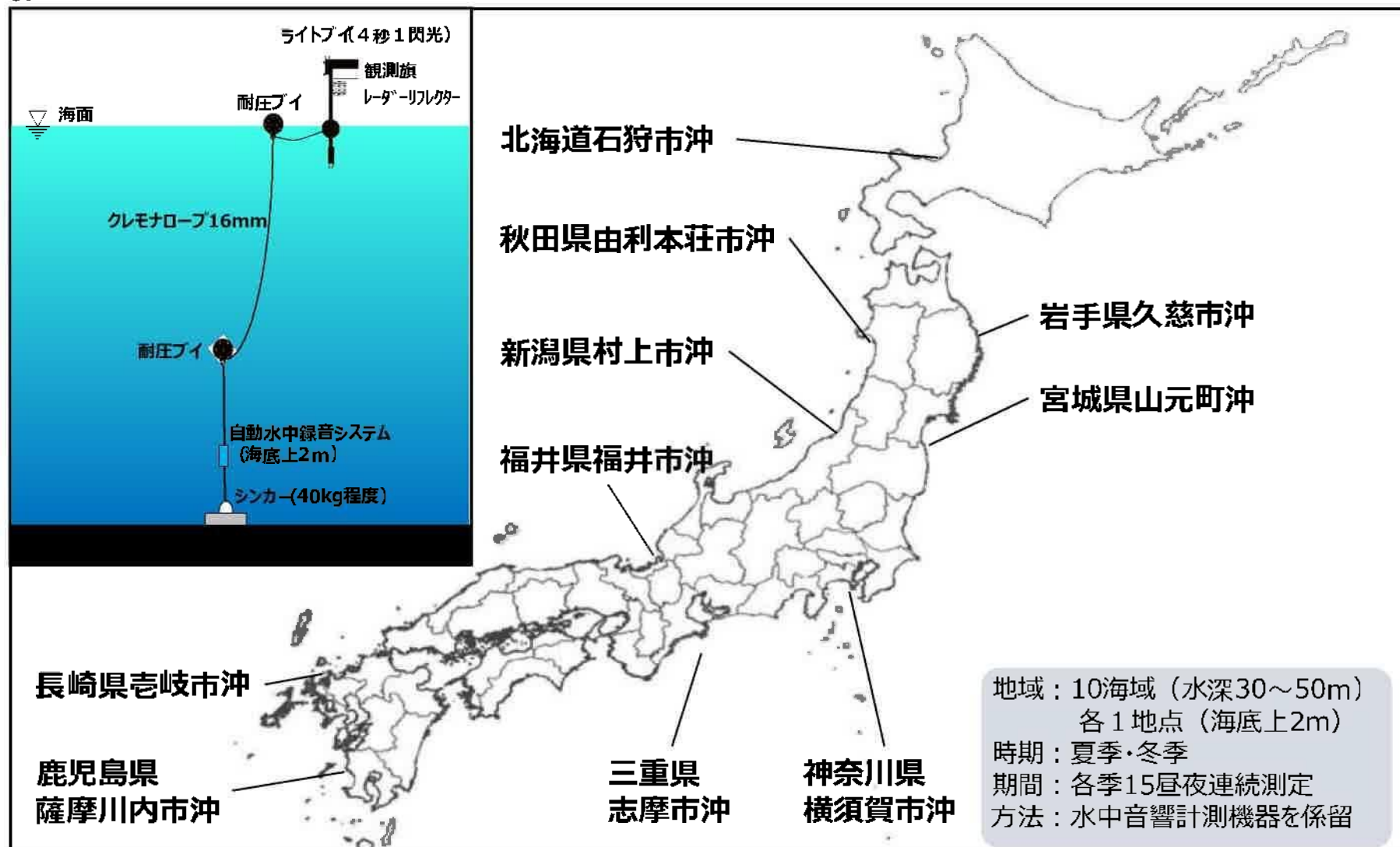
⁴ 平成28年度洋上風力発電所の環境影響に係る調査検討委託業務報告書、平成29年3月、株式会社 東京久栄、株式会社 環境総合テクノス

2.11 水中音

水中音5 国内のバックグラウンドの水中音

【資料の概要】

我が国の沿岸海域における水中の音響の状況（船舶等の人工音、風浪等の自然音など）を把握するために全国の代表的な10海域で実測調査を実施し、その結果が取りまとめられている。



出典：令和2年度海域における水中音響調査委託業務、アジア航測(株)、(株)KANSOテクノス、令和3年3月

2.11 水中音

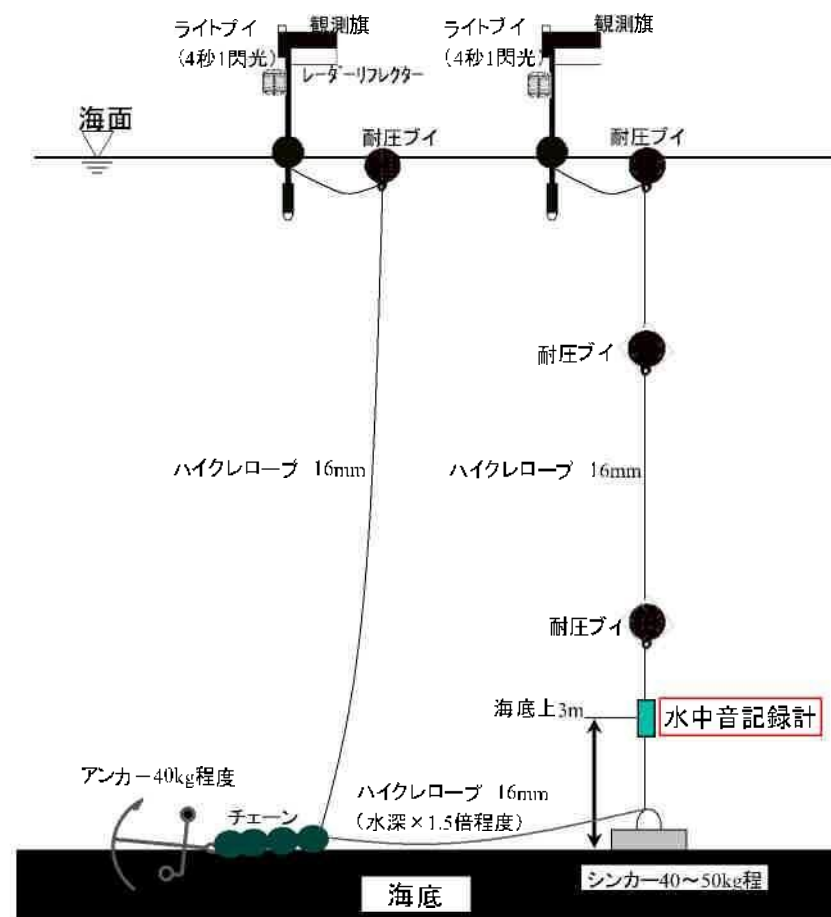
水中音6 水中音の現地調査手法の例

【調査手法の概要】

- 感度校正された水中音録音機を15昼夜以上連続して海中に設置し、水中音を記録する。機器の係留に際し、係留系自らが発する雑音の発生を極力抑制するため、可能な限り金属製の部材を排除するなどの配慮を行う。
- 調査地点の設定について、水中音は浅海域で減衰することから、事業実施区域及びその周囲で可能な限り水深が大きい箇所において1地点以上を設定する。近傍に港湾や船舶航行量が多いなどの水中音特性が異なる水域が存在する場合は、その近傍と可能な限り離隔をおいた地点に複数点を設定するなどに努める。
- 調査時期・頻度は、季節的な変動を把握するため、4季／年（春・夏・秋・冬）とし、1回の調査は大潮から小潮の変動を把握するため15昼夜以上／季の連続観測とする。



図 調査地点の設定例



2.12 振動

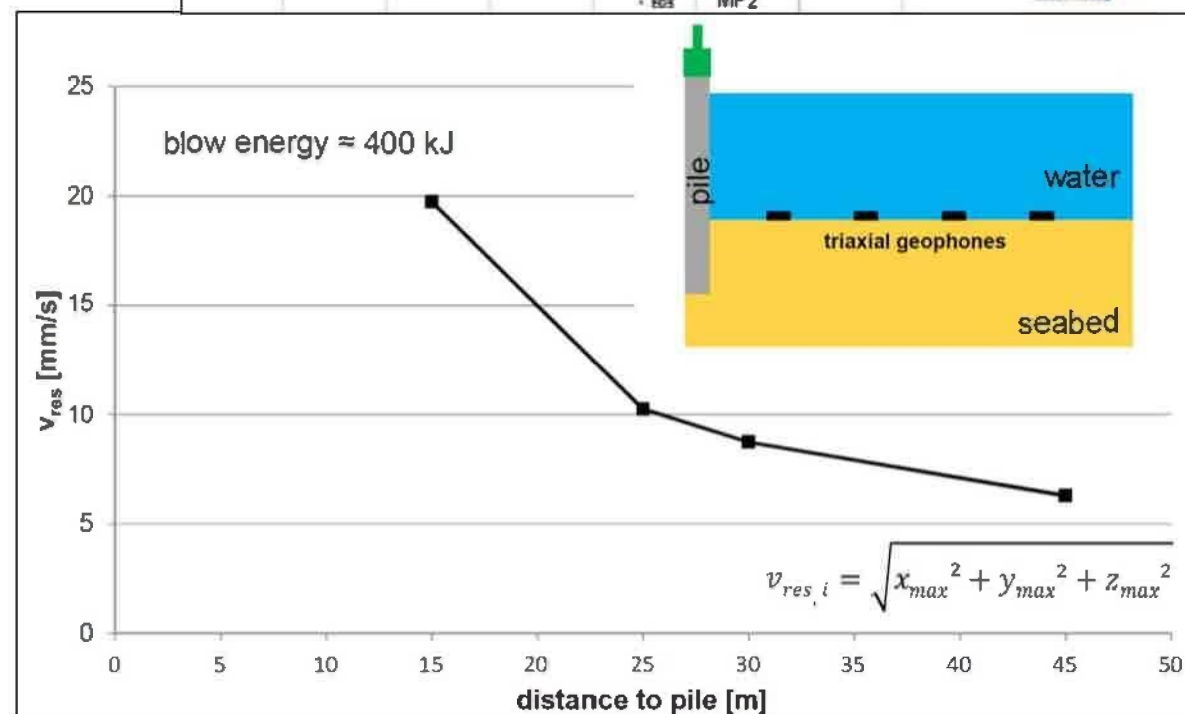
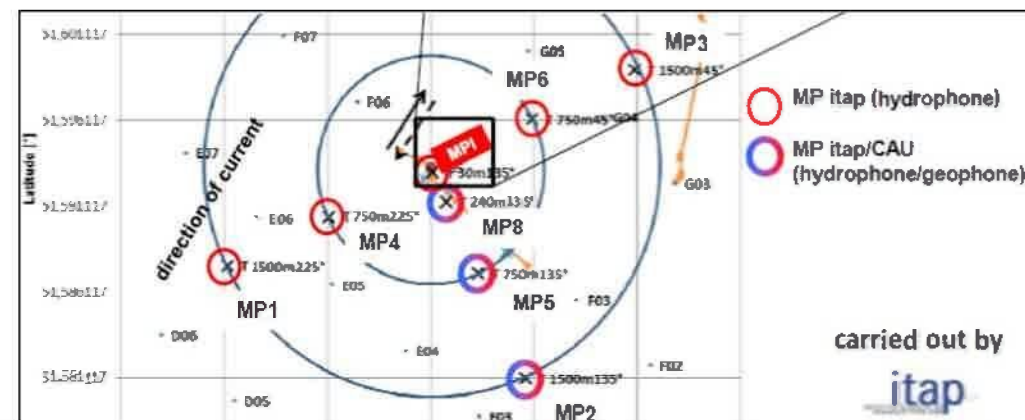
振動 1 杭打作業に伴う振動の測定事例

【資料の概要】

- ・Brunsら（2014年）は、杭打作業に伴う水中音を低減するHydro Sound Dampersの効果を確認するため、杭打作業に伴う水中音及び振動を測定した。

【記載内容の概要】

- ・振動の測定は、杭打作業の地点から15,25,30,45mに、3軸geophoneを設置して、最大速度振幅により振動を測定した。（杭直径5.7m、London Array洋上風力発電所）
- ・最大速度振幅は15mで20mm/s、45mで7mm/sに減衰していた。



出典：The new noise mitigation system 'Hydro Sound Dampers': history of development with several hydro sound and vibration measurements
Benedikt Bruns et al., 2014

2.12 振動

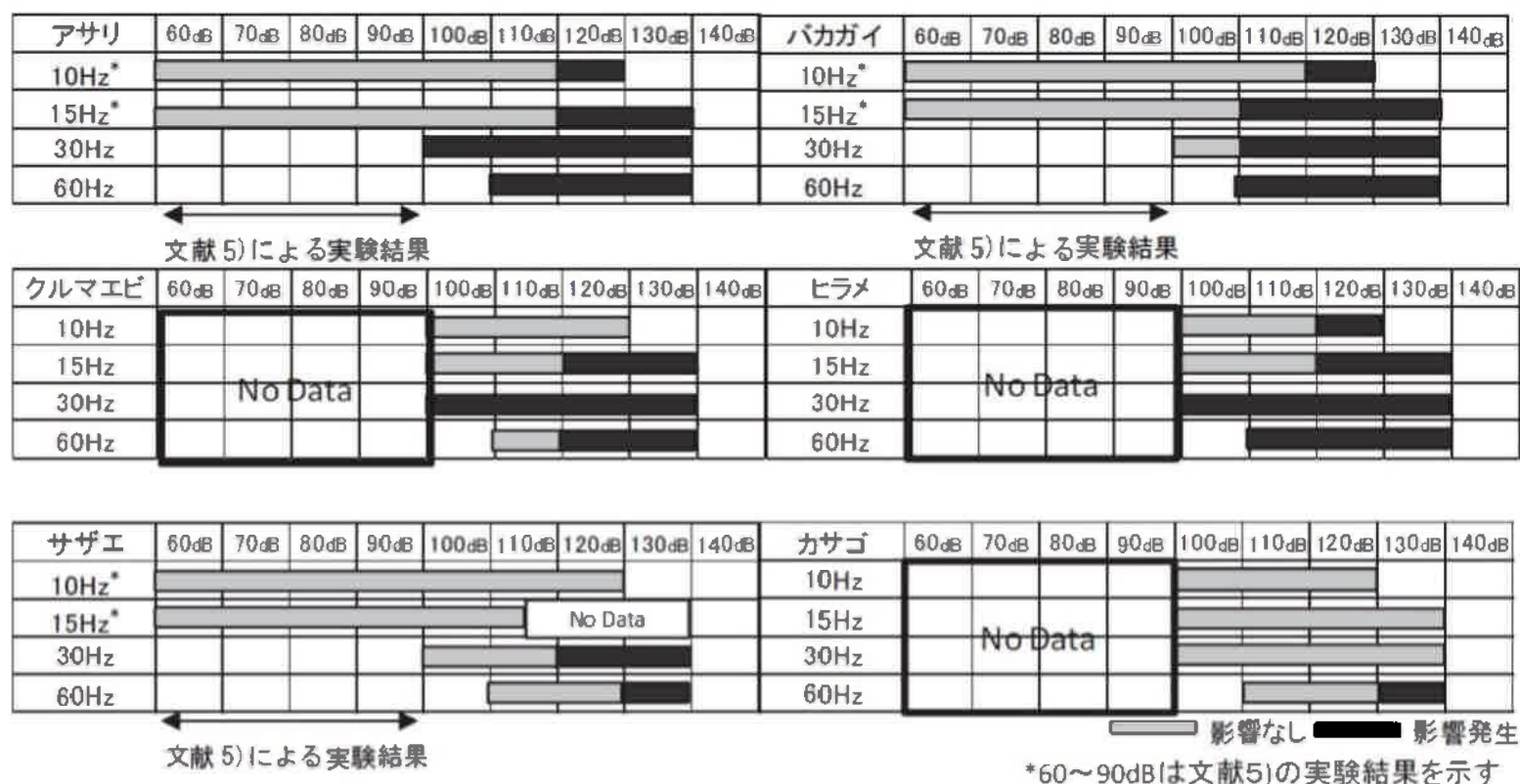
振動 2 振動による海生生物への影響

【資料の概要】

・竹内らは、海底振動に対する海生生物の反応を調べるため、海生生物を入れた水槽に試験的に振動を発生させ、海生生物ごとの海底振動に対する反応を調べた。

【記載内容の概要】

- ・過去の測定結果によると、杭打ちで発生する海底振動は打設位置から30mの距離で振動レベル100dB以下、100mの距離で振動レベル約80dBに減衰していた。
- ・振動の伝播特性として、高周波の振動は距離減衰量が大きいいため振動発生源付近ですぐに吸収されるが、低周波の振動は距離減衰量が小さく、施工時における振動の影響を広域におよぼす可能性があるため、周波数の差異に考慮して実験を行った。
- ・水槽実験の結果、概ね振動レベル100dB以上で、海生生物の反応が見られ、影響が発生することが分かった。



出典：海上工事で発生する海底振動が周辺生物へおよぼす影響、竹山ら、（一社）日本建設機械施工協会、2011年

2.13 流向・流速

流向・流速1 洋上風力発電所に伴う流向・流速（国内における測定事例）

【資料の概要】

環境省は、国内の海域において、洋上風力発電の設置に伴う流向・流速の変化の程度を把握するため、北九州市の洋上風力発電設備及び広島県の橋梁を対象に現地調査を行い、直径の大きさと流向・流速の変化の関係について取りまとめている。

【記載内容の概要】

- 国内2箇所において、乱流の検出距離を把握するための調査を行った結果、流速1m/sの場で、モパイル式の直径10mの基礎であれば、10D = 100m程度まで乱流が検出されることが分かった。
- 現地調査の結果を用いてシミュレーションを行い、直径と、流速の変化が生じる範囲の関係を把握した。モパイル直径と海域の流速を当てはめれば、乱流の検出距離を推定できる。
- なお、海域の水深による検出距離の変化はない。波浪が大きい海域では、この検出距離より小さくなる傾向である。

構造物 代表径	環境場 流速	環境場 乱流強度	検出距離 (現地)	検出距離 (シミュレーション)
10m	0.1m/s	0.442	3.5D	3.5D
	0.3m/s	0.272	5.5D	6.0D
	0.5m/s	0.217	7.0D	8.0D
	0.75m/s	0.182	8.5D	9.5D
	1.0m/s	0.160	9.5D	11.0D
	1.5m/s	0.134	12.0D	14.0D
	2.0m/s	0.118	13.5D	16.0D

10MW基の直径
は概ね10m



出典：平成28年度洋上風力発電所の環境影響に係る調査検討委託業務 概要版、平成29年3月、環境省

2.13 流向・流速

流向・流速2 洋上風力発電所に伴う流向・流速

【資料の概要】

英国海洋管理機構（Marine Management Organization : MMO）は、沿岸で実施されたラウンド1,2の19の洋上風力発電事業を対象に、許認可条件に含まれた事後調査報告書のレビューを行い、今後の許認可において、事後調査を行うべき項目及び手法等を取りまとめた¹⁾。

【記載内容の概要】

- ・19事業のうち、5事業で流向・流速の事後調査が許認可条件に含まれていた。2009年以降の事業には含まれていなかった。
- ・流向・流速の影響に係る不確実性がないと考えられたため、流向・流速の事後調査は、事業実施に係る許認可の条件に入れる必要はない。
- ・ただし、浅海域で事業を実施する場合であって、沿岸に保護地区があったり、砂州などの特徴的な地形があったりする場合は、モニタリングを検討する必要がある。

【資料の概要】

- ・米国において、洋上風力発電の導入推進や環境アセスメントの実施にあたって、欧州での事後調査結果等から得られた現在の知見や、不明な点等を整理した²⁾。
- ・当該報告書のうち、流向・流速について、以下の通り整理されている。

【記載内容の概要】

- ・英国のBarrow洋上風力発電所において、満潮・干潮時に風力発電機による流向・流速の変化の範囲を測定したところ、下流側においてモノパイルの直径の6~10倍の範囲で変化が見られた。
- ・英国のInner & Dowsing洋上風力発電所において、風力発電機による流向・流速の変化の範囲を測定したところ、下流側においてモノパイルの直径の6~10倍の範囲（100mから400m）で変化が見られた。
- ・ジャケット式や浮体式では、モノパイルのような流向・流速の変化は想定されない。

出典：

1) Review of environmental data associated with post-consent monitoring of licence conditions of offshore wind farms, MMO, 2014

2) Improving Efficiencies of National Environmental Policy Act Documentation for Offshore Wind Facilities Case Studies Report, BOEM, 2018

2.14 海浜地形

海浜地形1 海浜地形に関する英国における事後調査のレビュー結果

【資料の概要】

英国海洋管理機構（Marine Management Organization : MMO）は、沿岸で実施されたラウンド1,2の19の洋上風力発電事業の許認可条件に含まれた事後調査報告書のレビューを行い、今後の許認可において、事後調査を行うべき項目及び手法等を取りまとめた。

【記載内容の概要】

- ・19事業のうち、3事業で海浜地形の事後調査が許認可条件に含まれていた。1事業のみ報告書が入手可能であり、結果を確認したところ、3年間にわたる事後調査の結果から海浜地形への影響は確認されなかった。
- ・環境影響評価の結果、沿岸での流向・流速の予測結果によって、法的に保護された海岸が影響を受ける可能性がある場合を除き、許認可条件として事後調査は必要ない。
- ・法的に保護された沿岸又はその近傍で海底ケーブルを設置する場合は、許認可条件として事後調査が必要である。

2.14 海浜地形

海浜地形2 海浜地形と水深等の関係 (1/2)

【資料の概要】

海浜地形と水深等の関係に関連する一般的な知見を整理した。

【記載内容の概要】

①海底地形の変化の要因⁽¹⁾

- ・海浜・海底地形は、漂砂、飛砂により変化する。
- ・漂砂の向きや量は主に波浪に起因する水の動き（流れ）により変化する。

②海浜地形の変化について⁽¹⁾

- ・一般的に波の影響が海底地形に影響を及ぼす水深は波長（ L ）の1/2以下である（図1参照）。
- ・海底の土砂が波の作用によって移動する水深を移動限界水深という。
- ・移動限界水深は土砂の性質（海底土砂の比重、粒径）と波の性質（波高、周期）に依存するため一律に定まらない。
- ・このことについて、宇多（1997）は、数年以上の比較的長い期間で海浜地形を調べると、工学的に有意義な地形変化が見られなくなる水深があることを示した。この水深は、波による地形変化の限界水深 h_c と呼ばれる（図2参照）。
- ・この波による地形変化の限界水深は、海岸ごとにほぼ一定の値になることが知られている。これは、海象条件と底質条件によって海浜地形が決まっているためであり、外海に面した海岸では10m程度、内湾や内海に面した海岸では2~4m程度である（表1 参照）。

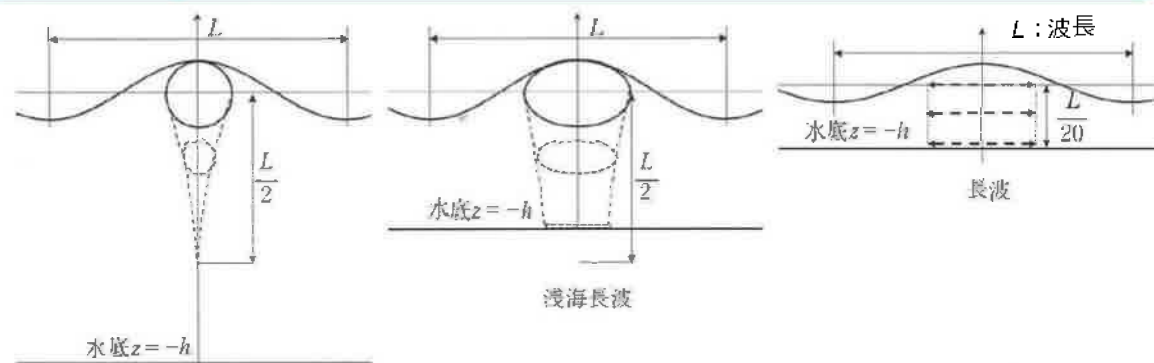


図1 水粒子の軌道

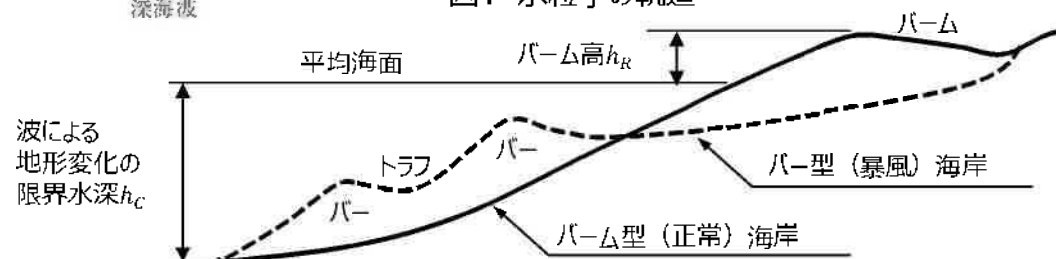


図2 特徴的な海浜断面地形

表1 NOWPHAS波浪データによる未超過確率波高、波による地形変化の限界水深、漂砂の移動高の一覧⁽²⁾

波浪観測所	統計年月	波高					限界水深 (m)	漂砂の移動高 (m)	海岸名称
		50%	80%	90%	95%	98%			
苫小牧	13ヵ年	0.64	1.08	1.45	1.83	2.38	6	6.7	北海道日高海岸
むつ小川原	21ヵ年	0.89	1.48	1.96	2.47	3.19	8	11	青森県三沢海岸
仙台新港	16ヵ年	0.71	1.11	1.41	1.71	2.19	8	6.1	宮城県石巻湾沿岸
いわき沖	4ヵ年	1.47	2.18	2.70	3.26	4.13	9	11	福島県北部～宮城県南部沿岸
相馬	13ヵ年	0.88	1.33	1.66	1.98	2.48	8	-	宮城県仙台湾沿岸
湊浦	15ヵ年	0.85	1.95	2.71	3.38	4.20	14	-	秋田県能代沿岸
酒田	22ヵ年	0.91	1.97	2.73	3.40	4.27	15	-	山形県沿岸
鹿島	11ヵ年	1.18	1.83	2.31	2.77	3.38	8	6.1	茨城県鹿島灘沿岸
第二海堡	4ヵ年	0.37	0.47	0.56	0.68	0.76	3	4	千葉県富津岬
新潟沖	6ヵ年	0.71	1.62	2.28	2.87	3.56	8	-	新潟県新潟沿岸
御前崎	7ヵ年	0.68	1.12	1.46	1.80	2.31	3	-	静岡県相良片浜海岸
潮岬	8ヵ年	0.95	1.54	2.03	2.49	3.20	10	-	三重県七重御浜海岸
鳥取	16ヵ年	0.88	1.77	2.40	2.91	3.49	14	-	鳥取県鳥取海岸
宮崎	5ヵ年	0.97	1.64	2.22	2.75	3.49	10	15	宮城県宮崎海岸

出典

1 沿岸域工学の基礎、小林昭男、技報堂出版（東京）、2019

2 沿岸漂砂量、波による地形変化の限界水深および波候特性の関係、宇多ら、2002

2.14 海浜地形

海浜地形2 海浜地形と水深等の関係 (2/2)

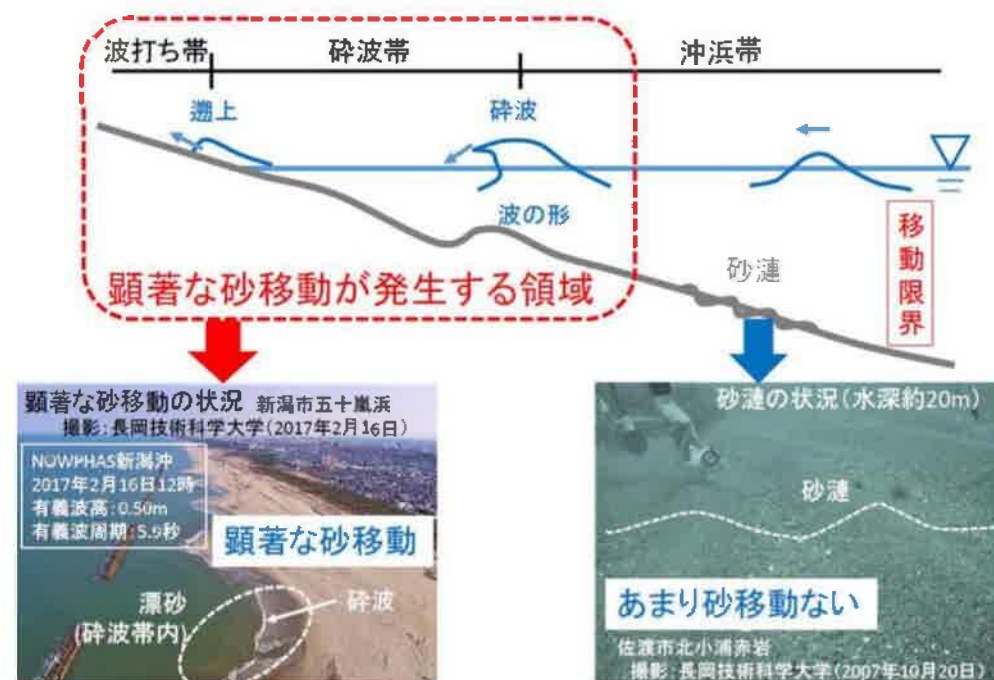
【資料の概要】

新潟県村上市及び胎内市沖における協議会では、洋上風力発電に伴う海浜地形への影響に関する資料説明があった。

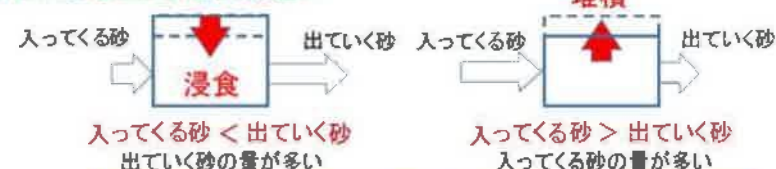
【記載内容の概要】

- ・海浜に供給される砂は河川から供給される（右写真）。
- ・海浜に供給された砂は移動する（右写真）。
- ・供給された砂のうち、水深20m以深の砂はあまり移動しない（下写真）。
- ・沖合に設置される洋上風力発電に伴い海岸付近へ到達する波浪状況に変化が生じることとはほとんどなく、海岸付近の漂砂現象に与える影響は小さい。このため、洋上風力発電が海浜地形に及ぼす影響はほとんどないと考えられる（右下写真）。

水深の違いによる漂砂特性の変化



漂砂による浸食/堆積の違い



出入りする砂の収支で浸食か堆積が決まる



2.15 海底地形

海底地形1 海底地形に関する英国における事後調査のレビュー結果

【資料の概要】

英国海洋管理機構（Marine Management Organization：MMO）は、比較的沿岸で実施されたラウンド1,2の19の洋上風力発電事業の許認可条件に含まれた事後調査報告書のレビューを行い、今後の許認可において、事後調査を行うべき項目及び手法等を取りまとめた。当該報告書のうち、海底地形については、下記の通り記載されている。

【記載内容の概要】

- ・英国におけるラウンド1での事後調査は、モノパイルを対象に半年に1回、稼働後3年まで行われた。一部の事業では、嵐など特異な気象条件後の海底地形の変化のみを対象に行われた。
- ・事後調査報告書をレビューした結果、今後は、洗掘に係る事後調査は許認可条件に含める必要はない。
- ・洗掘による影響を受ける可能性がある地域や生物種（例：底生生物や砂州など）が存在し、環境影響評価において重大な影響が生じる可能性がある場合は事後調査を行う必要がある。

表 英国等における洗掘の状況

事業名	海岸線からの距離	水深	基数等	評価書における予測結果	洗掘防止策	事後調査において観測された影響
North Hoyle	7km	5-12m	2MW×30基	玉石混じりの粘土のため、洗掘が少ない	無し	予測と同様の結果
Kentish Flats	10km	3-5m	3MW×30基	ロンドン粘土層のため洗掘は限定的。	無し	モノパイル及びジャケット周辺で深い洗掘が発生
Scroby Sands	2.5km	0-8m	2MW×30基	深い洗掘を予測。	有り	・洗掘の深さは概ね予測通り ・洗掘の範囲は予測より大きな範囲 ・二次的な洗掘を形成
Barrow	7km	15-20m	3MW×30基	細砂が分布する範囲で洗掘が発生すると予測（底質の性状による）	無し	予測と同様の結果
Arklow Bank (Ireland)	10km	2-5m	3.6MW×7基	深い洗掘を予測。	有り	二次的な洗掘はわずか

注）海岸線からの距離、水深、基礎等は加筆した。

出典：Review of environmental data associated with post-consent monitoring of license conditions of offshore wind farms, MMO, 2014

2.15 海底地形

海底地形2 モノパイルにおける洗掘防止工による効果

【資料の概要】

有川らは、1/13スケールで大規模実験を行い、最大洗掘深及びその発生地点と海象条件の関係、有効な洗掘防止工の検討を行った。

【結果の概要】

- ・モノパイル周辺の流況や洗掘の発生地点と渦の関係性を確認することができた。
- ・洗掘防止工を設置することでモノパイル周辺の洗掘を大幅に低減できることが明らかになった。

表1 実験条件一覧

Case	海象条件				洗掘防止工有無
	波	流れ	水位	周期	
1	0.82m	-	2.15m	3.88s	なし
2	-	0.38 m/s		-	なし
3	-	0.38 m/s		-	あり
4	-	0.56 m/s		-	あり
5	0.82m	-		3.88s	あり
6	0.82m	0.38 m/s		3.88s	あり

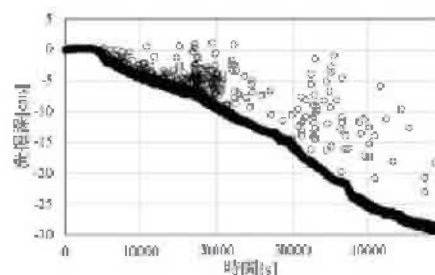


図4 Case2 (洗掘防止工無し)

洗掘防止工無し

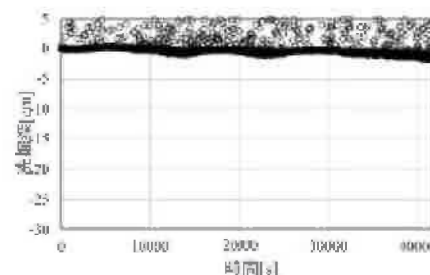


図5 Case3 (洗掘防止工あり)

洗掘防止工有り

図4 最大洗掘深時点における洗掘深時系列変化

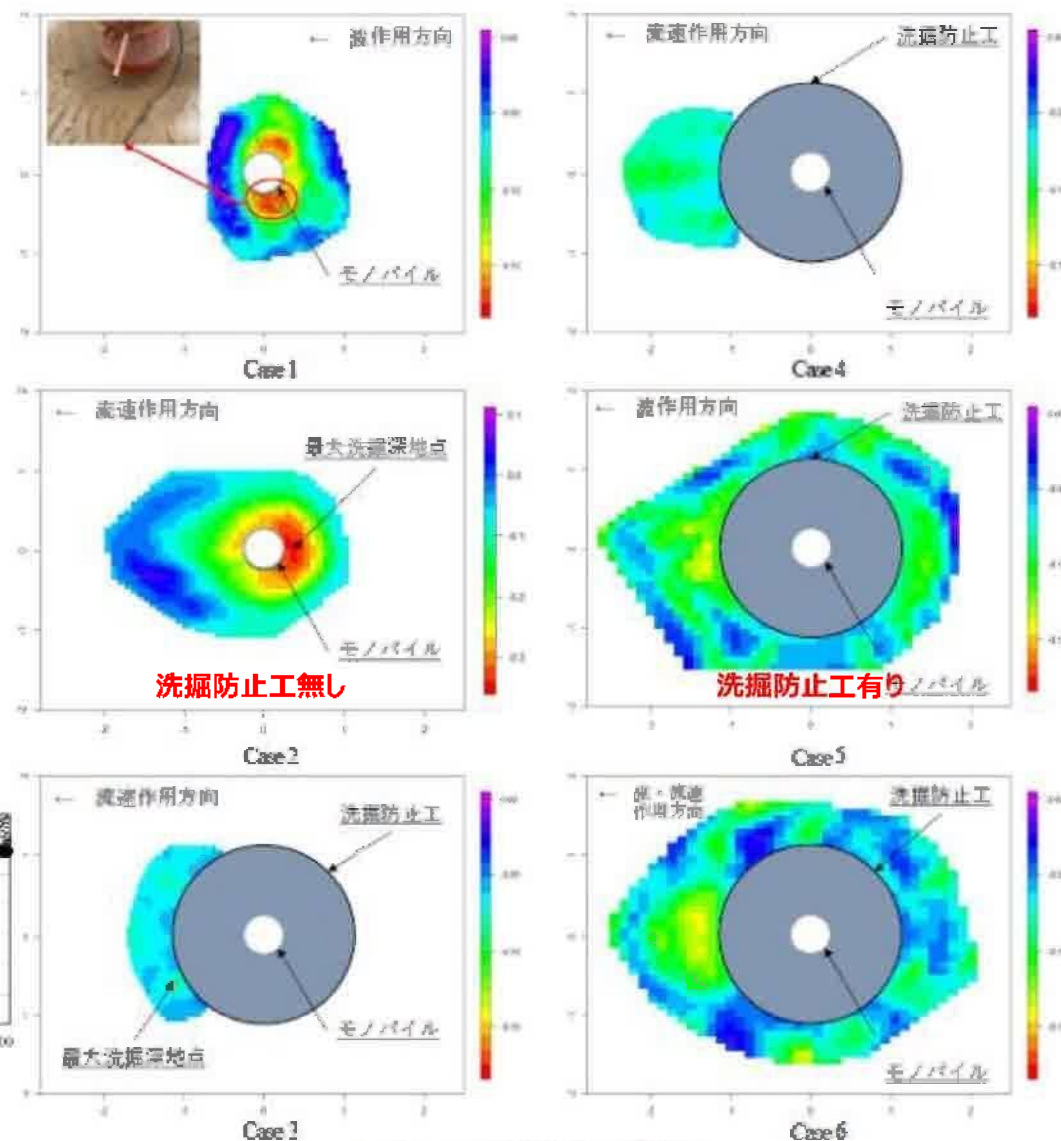


図6 各ケースの最終洗掘図 (単位: cm)

出典：モノパイル式洋上風力発電機の基部における局所洗掘に関する実験的検討、有川ら、2020

2.16 電磁界

電磁界1 海底送電ケーブルと電磁界

【資料の概要】

米国海洋エネルギー管理局（BOEM）は、洋上風力発電の海底送電ケーブルの設置に伴って発生する電磁界に係る情報を整理している。

【記載内容の概要】

- ・自然界には電磁界が存在する。米国ニューイングランド海岸の磁界は51.6 μ T（日本は平均46 μ T）。地球の磁界を通して海流で生じる電界は0.075mV/m以下である。
- ・風力発電機間に設置されるアレイケーブルは、34.5kVから66kV、直径約6インチ（約15cm）、洋上変電所から陸揚げ地点をつなぐエクスポートケーブルは138kVから230kV、直径約8-11インチ（約20-28cm）で交流で送電される。
- ・ケーブルを被覆する金属でブロックされるため、海底送電ケーブルから電界は発生しない。しかし、被覆された金属では磁界を十分に防げないため、海底送電ケーブルには磁界が発生する。
- ・電磁界の強さは電流の量により増減する。
- ・海底送電ケーブルは、海底に3-6フィート（約90-180cm）埋めて設置される。
- ・海底が固い場合は、6-12インチ（約15-30cm）のコンクリートマットレスで被覆される。コンクリートマットレスで被覆する場合、海底送電ケーブルから10フィート（約3m）離れると、埋設した海底送電ケーブルと同程度の電磁界となる。
- ・エクスポートケーブルを1m埋設した場合、ケーブル直上の海底で20-165mG（2-16.5 μ T）、海底から1m上では10-40mG（1-4 μ T）である（右図参照）。

電磁界 単位

○磁界
・ミリガウス又はミリテスラ
・1 μ T=10mG

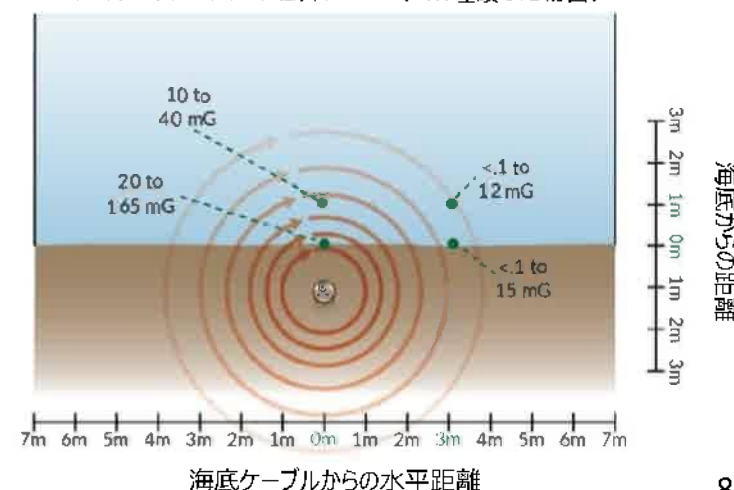
○電界
・mV/m

表 海底送電ケーブル（ACケーブル）による典型的な電磁界（1m埋設した場合）

海底送電ケーブルの種類	磁界 (mG)			
	海底送電ケーブルの直上		3 から 7.5m 水平方向に離れた場合	
	海底上1m	海底	海底上1m	海底
アレイケーブル	5 to 15	20 to 65	<0.1 to 7	<0.1 to 10
エクスポートケーブル	10 to 40	20 to 165	<0.1 to 12	1 to 15

海底送電ケーブルの種類	磁界に誘発されて発生する電界 (mV/m)			
	海底送電ケーブルの直上		3 から 7.5m 水平方向に離れた場合	
	海底上1m	海底	海底上1m	海底
アレイケーブル	0.1 to 1.2	1.0 to 1.7	0.01 to 0.9	0.01 to 1.1
エクスポートケーブル	0.2 to 2.0	1.9 to 3.7	0.02 to 1.1	0.04 to 1.3

エクスポートケーブルの磁界レベル（1m埋設した場合）



出典：Evaluation of Potential EMF Effects on Fish Species of Commercial or Recreational Fishing Importance in Southern New England, BOEM, 2019

2.16 電磁界

電磁界2 海生生物と電磁界（1/2）

【資料の概要】

米国エネルギー省オレゴン州エネルギー委員会は、電磁界に対する海生生物の反応等に関する知見を取りまとめている。

【記載内容の概要】

海底ケーブルの海生生物による影響をまとめた米国内務省海洋エネルギー局の論文(*)では、「海生生物がどのように電磁界を感知しているかの知見がない、仔魚や無脊椎動物等を対象とした知見がない、海底ケーブルから発生する電磁界に対する行動に関する知見がない等の不確実性があるが、海底ケーブルの設置に伴う電磁界の変化を感知できる種として、軟骨魚類、一部の硬骨魚類、一部のエビ・カニ等の甲殻類が、磁界の変化を感知できる種として、ウミガメ類、一部の海生哺乳類、一部のエビ・カニ類の甲殻類が挙げられている。また、漂泳性の生物より、底生性の生物への影響が大きいと考えられる」と記載されている。

(※Effects of EMFS from undersea power cables on Elasmobranchs and other marine species, 2011, U.S. Department of the Interior)

表 海生生物の電磁界に関する知見

	種名	磁界	電界	反応・結果
底生生物	エビジャコ属(<i>Crangon crangon</i>) ミナトオウギガニ(<i>Rhithropanopeus harrisi</i>) ヨーロツパイガイ(<i>Mytilus edulis</i>) ヨーロツパイガイ(<i>Mytilus edulis</i>)	3.7mT (37G)	—	・反応無し
	ウニ (Sea urchins)	5.8, 8, 80 mT	—	・水分含有量20%減 ・アミン窒素値15%減
		10 mT ~ 0.1 T	—	・初期胚の分裂周期の遅延 ・脱腸胚の増加
硬骨魚	サケ類 (general)	—	7 ~ 70μV/cm	・心拍数の増加
		—	0.5 ~ 7.5 V/m	・鰓及び鰭の震え
		—	0.025 ~ 15 V/m	・帯電した電極への遊泳
		—	5 V/m	・電気による昏睡又は麻痺
	ウナギ類 (general)	—	0.007 ~ 0.07 V/m	・心拍数の増加
		—	0.5 ~ 7.5 V/m	・鰓及び鰭の震え
		—	0.025 ~ 15 V/m	・帯電した電極への遊泳
		—	15 V/m	・電気による昏睡又は麻痺
	ヨーロツパウナギ(<i>Anguilla anguilla</i>) ニホンウナギ(<i>Anguilla japonica</i>)	ケーブルから10mで地磁気と同様の磁界 0.12663G ~ 0.192473 G	—	・約60%がケーブルを横断 ・様々な反応

出典：Effects of electromagnetic fields on marine species: A literature review, 2010, Oregon Wave Energy

2.16 電磁界

電磁界2 海生生物と電磁界 (2/2)

表 海生生物の電磁界に関する知見

	種名	磁界	電界	反応・結果
軟骨魚	サメ類 (general)	全て	全て	・基本的な機能への影響
	イヌホシザメ(<i>Mustelus canis</i>)	—	0.021 μ V/cm以上	・距離18cmから発生源への攻撃
	ツノザメ (<i>Large dogfish</i>)	—	5 nV/m	・距離38cmから発生源への攻撃
	エイ類 (general)	—	1 $\times 10^{-9}$ V/m	・心臓の反応
	イボガンギエイ(<i>Raja clavata</i>)	—	10-6 V/m	・呼吸及び心拍数の変化
		—	4 $\times 10^{-5}$ V/m	・心拍数の減少
	アカエイ科 (general)	—	潮流による電界発生 (5 $\times 10^{-9}$ V/m以上)	・潮流と類似した電界の形成能力への影響
カメ	アオウミガメ(<i>Chelonia mydas</i>)	様々	—	・反応無し
海生哺乳類	クジラ目(general)	地磁気 ± 0.5 mG	—	・磁界を利用した移動
	マイルカ(<i>Delphinus delphis</i>)	地磁気 ± 0.5 mG	—	・座礁への影響
	ハナゴンドウ(<i>Grampus griseus</i>)			
	タイセイヨウガマイルカ (<i>Lagenorhynchus acutus</i>)			
	ナガスクジラ(<i>Balaenoptera physalus</i>)			
	ゴンドウクジラ(<i>Globicephala malaena</i>)			

3. 参考

3. 参考

3.1 欧州における洋上風力発電に関する主な報告書

本参考資料のうち、欧州関連の資料については、下記に示す事後調査結果等を整理された内容をもとに、環境影響評価の項目ごとに、環境影響の程度や事後調査、環境保全措置等に関連する情報などを整理した。

	資料名	資料の概要
1	Review of environmental data associated with post-consent monitoring of licence conditions of offshore wind farms, Marine Management Organisation, 2014	英国海洋管理機構（Marine Management Organization : MMO）は、沿岸で実施されたラウンド1,2の19の洋上風力発電事業を対象に、許認可条件に含まれた事後調査報告書のレビューを行い、今後の許認可において、事後調査を行うべき項目及び手法等を取りまとめた資料
2	Offshore wind energy ecological programme (Wozep)	オランダ政府が中心となり、洋上風力発電に伴う生物への環境影響を長期間にわたってモニタリングするプログラムにおいて得られた知見をまとめた資料
3	ENVIRONMENTAL IMPACTS OF OFFSHORE WIND FARMS IN THE BELGIAN PART OF THE NORTH SEA	ベルギー王立自然史博物館などの研究者が中心になって、ベルギー国の洋上風力発電に伴う様々な環境影響を対象に事後調査した結果が取りまとめられた資料

3. 参考

3.2 洋上風力発電のモニタリング手法（BACIデザイン、BAGデザイン）

【BACI（Before-After-Control-Impact）デザイン】

事業の影響が生じる海域（影響海域：Impact）と事業の影響がないと考えられる海域（対照海域：Control）の双方において事業実施前（Before）と実施後（After）に調査を行い、対照海域と事業計画地のある海域の事業実施前の差をベースとして、実施後の差を統計的に解析し評価する方法。対照海域と影響海域の水深や流況等が同じ条件であることで「差」がより明確になるため、対照海域の設定が重要となる。

【BAG（Before-After-Gradient）デザイン】

距離に応じて変化する要因の影響を把握する場合や、事業実施前後にわたって、事業計画地のある海域及びその周辺を広く対象に調査し、鳥類や海棲哺乳類の分布の変化を把握することで事業による影響を把握する方法。同じ範囲を対象に自然変動を含めて面的に調査を行い、事業実施前後の差を把握することから、自然変動による地域等の違いを考慮せずに、影響を把握することが可能である。

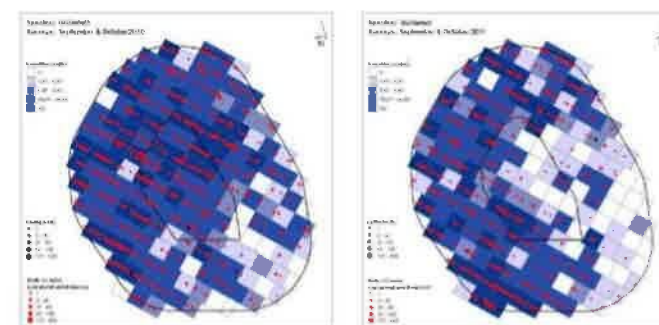


図 海鳥類の生息密度の年変動（BAGデザインのイメージ）

出典：Examining between-year natural variation in seabird numbers and distribution at an offshore wind farm development site, Martin Poot et al, 2013

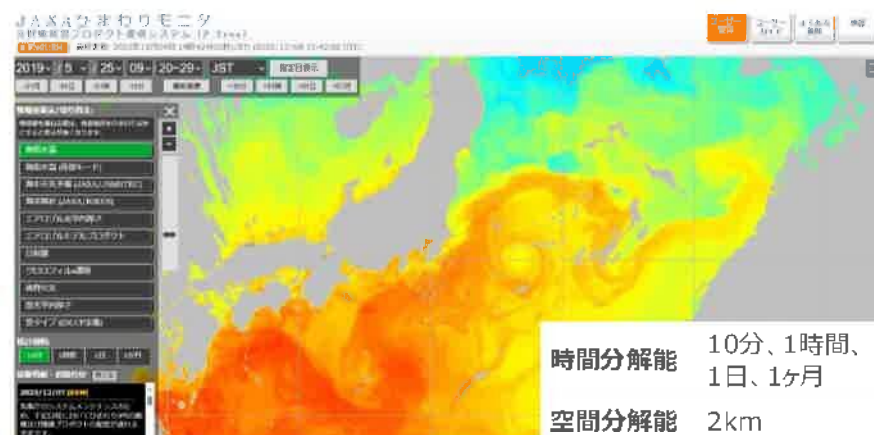
図 風車等の設置位置からの距離に伴う変化の調査結果から影響の大きさを求めるモニタリング調査方法（BACIデザインBAGデザイン）のイメージ（Secor 2018 を一部改変）

出典：資料5 山形県遊佐町沖において実施する漁業影響調査の考え方案、山形県遊佐町沖における協議会（第4回）、令和5年3月23日開催

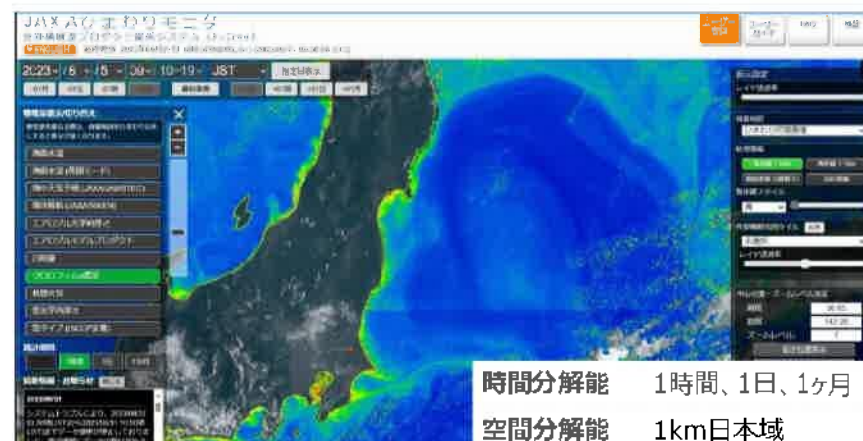
3. 参考

3.3 衛星リモートセンシングによる情報の活用

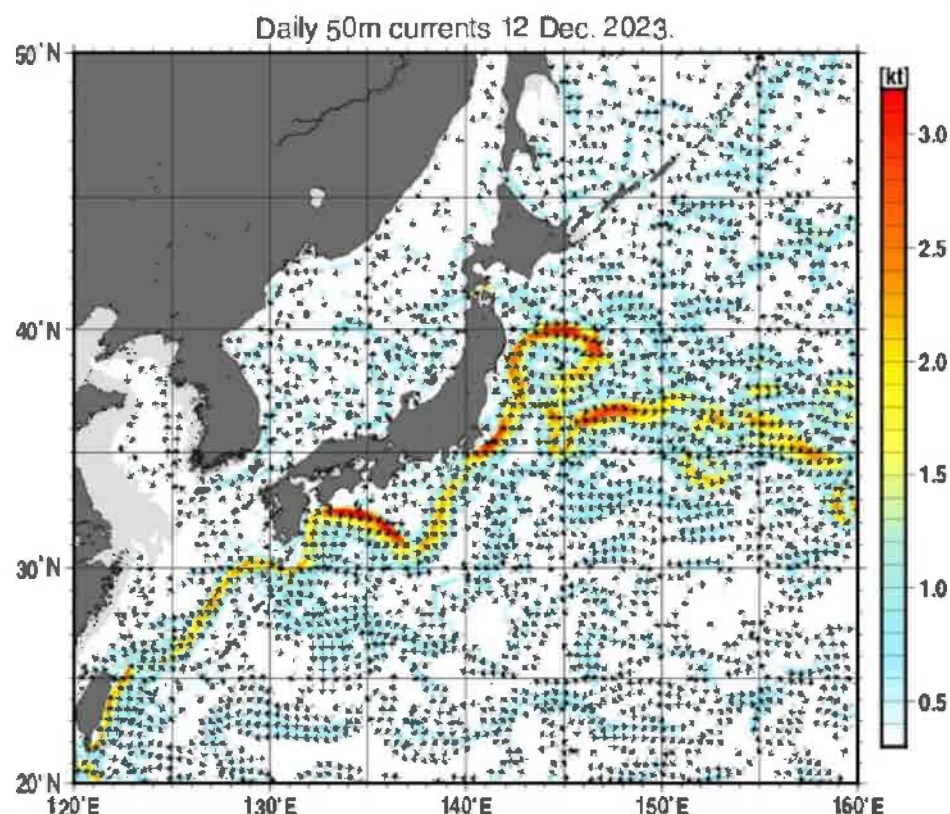
人工衛星に専用の測定器（センサ）を載せ、地球を調べる（観測する）ことを衛星リモートセンシングという。海面水温、海域表面のクロロフィルa濃度などの情報が、一定の時間分解能・空間分解能で提供されており、広域的かつ継続的に海域の状況を把握することが可能である。



JAXAひまわりモニタ（海面水温）



JAXAひまわりモニタ（クロロフィルa濃度）



「海洋大循環モデル」の結果と人工衛星、船舶、ブイ、中層フロートなどの観測データを総合的に解析（データ同化）することにより、海面から海底付近までの水温、流れを計算したもの。

気象庁海洋の健康診断表（日別海流）

出典： <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/index.html>

出典： https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html

3. 参考

3.4 水中探査機による調査技術

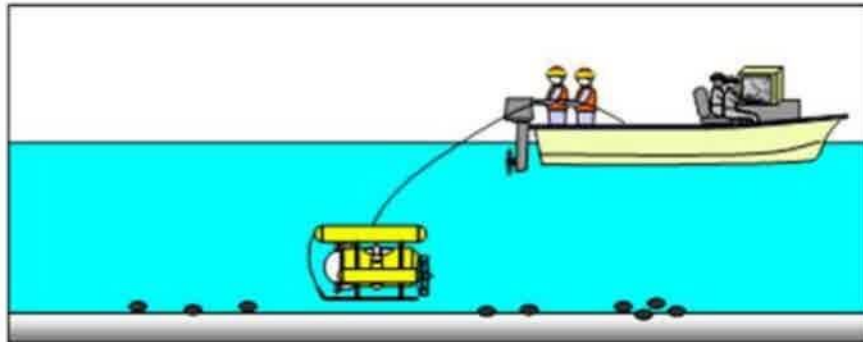
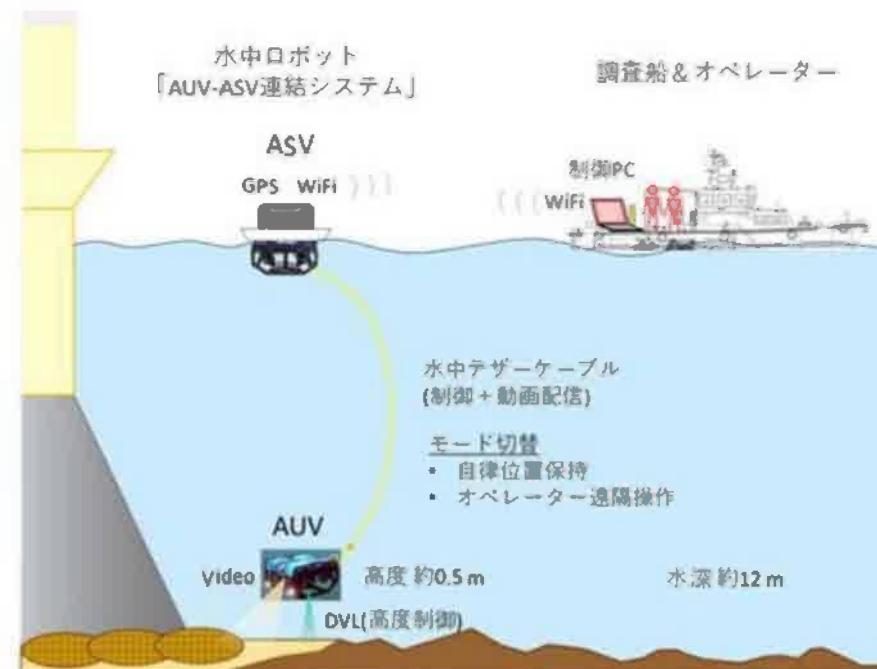


図 ROVに搭載した水中カメラによるメガロベントス生息分布調査（模式図）

出典：2019年度苫小牧沖における夏季調査結果（詳細版）
<https://www.env.go.jp/content/900539010.pdf>

【調査手法の概要】

- 海中の観測に、遠隔操作無人探査機（ROV：Remotely Operated Vehicle）、自律型水中探査機（AUV：Autonomous Underwater Vehicle）の活用が進んできている。
- 探査対象範囲内の調査者の周辺域をROVで探査し、より遠隔地をAUVで探査するような使い分けが考えられている。
- 沿岸域は海流の影響を受けやすく、また水深が浅い場合には流れが複雑となる。例えばサンゴ礁の調査では、サンゴへの接触、破壊の可能性も懸念されるため、機器の利用には十分注意する必要がある。
- ROVの遠隔操作用のコードが障害物に引っかかり、操作不能あるいは回収不能となった事例もあるため、事前に水中の障害物の有無、位置等を把握しておくことが必要である。



出典：第1期中長期目標期間
 業務実績等報告書、国立研究開
 発法人海上・港湾・航空技術研
 究所、2023年6月

図 AUV-ASV 連結システム一式の外観（左）とシステム概要（右）（銚子沖洋上風力発電設での点検事例）

3. 参考

3.5 3次元景観シミュレーション技術

【VR（Virtual Reality：仮想現実）】

- ・VR技術では、実際の空間を再現し、今後設置される構造物等を仮想的に作り出して、景観のシミュレーションを行うことができる技術。VRの空間がより現実に近い見え方であるほどイメージを伝達させやすくなると考えられる。
- ・3Dデータを扱うため、フォトモンタージュ法に比較すると高コストとなる。一方、地形データ等は自由に利用できるように整備されてきていることから、今後はコストの低減が期待できる。



＜公園づくりの工事の状況＞



＜ビルの建設後の様子＞

図 VR技術による景観シミュレーション

【AR（Augmented Reality：拡張現実）】

- ・AR技術とは、現実世界にコンピュータで管理される仮想世界の情報を合成し提示する技術である。電子的に生成された情報を、情報ネットワークを介して人間の目の前の現実世界に融合し重層的にリアルタイムで提示するウェアラブルARが国内で研究されている。
- ・スマートフォンで動作する「セカイカメラ」（現在はサービス終了）は代表的なアプリとして知られている。また、Google Glass等のAR機器も販売されている。
- ・仮想の構造物をできるだけ違和感なく現実世界へ融合することが課題であり、視点や姿勢をふまえた幾何学的整合性、陰影などの光学的整合性の確保が必要となっている。このことも含め、公表された活用事例、研究事例が少ないことから、価値認識の変化の把握や合意形成における有効性などがまだ明らかでないこと、一定のコストを必要とすることなどから、適用可能性に留意した上で利用を考える必要がある。



図 AR技術の活用方法